

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Bakalářská práce

2018

Tomáš Krmela, DiS.

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Technologie úpravy hlavy válců

Cylinder head adjustment technology

Student:

Tomáš Krmela, DiS.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Krmela**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Technologie úpravy hlavy válců
Cylinder Head Adjustment Technology
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika frézování.
3. Návrh vlastní technologie úpravy hlavy válců.
4. Popis a vyhodnocení výsledků experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

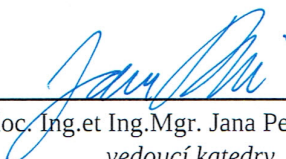
KOCMAN, Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
FOREJT, Milan a PÍŠKA Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015. VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1
AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil údaje o technických parametrech dílu vozidla získaných od firmy, která souhlasí s použitím informací v této práci.

V Ostravě dne 21.5.2018

Tomáš Kmela

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2018.....

Tomáš Krmela.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Krmela

Adresa trvalého pobytu autora práce: Olšanská 234, 789 63 Ruda nad Moravou

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KRMELA, T. Technologie úpravy hlavy válců: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 72 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

V této práci je popsána technologie úpravy hlavy válců. Počátek dokumentu se zabývá teoretickým úvodem do problematiky konstrukce hlavy válců a parametry frézování. Praktická část je věnována návrhu nových parametrů hlavy válců, volbě nástrojů pro obrábění a nastavení obráběcích strojů. V závěru práce jsou shrnuty výsledky práce a srovnání s původními parametry hlavy válců.

ANOTATION BACHLEOR THESIS

KRMELA, T. Technology of cylinder head work: Bachleor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical, Department of Working, Assembly and Mechanical Metrology, 2018, 72p. Thesis head : doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

In this thesis is described technology of modify the cylinder head. Origin of this document deals with theoretical introduction to the essence of cylinder head construction and milling parameters. Practical part is dedicated to design new cylinder head parameters, tool selection and working machines setting. In conclusion the results are sumarized and compared to prime parameters of cylinder head.

Na úvod chci poděkovat všem kteří mi tuto práci umožnili realizovat. Z tohoto projektu si mnoho odnáším a zdaleka to není jen mojí zásluhou. Jsem vděčný všem, kteří mi jakkoli pomohli, či poradili.

Děkuji

Obsah

1	Obecná charakteristika daného problému.....	11
1.1	Hlava válců.....	12
1.2	Účinnost motoru.....	20
2	Problematika frézování.....	23
2.1	Nástroj.....	24
2.2	Specifikace frézování.....	25
2.3	Obráběcí stroje.....	30
3	Návrh technologie úpravy hlavy válců.....	32
3.1	Analýza původního tvaru.....	33
3.2	Úprava ventilů.....	41
3.3	Úprava sedel ventilů.....	41
3.4	Úprava spalovacího prostoru.....	46
3.5	Úprava kanálů.....	48
3.6	Úprava dosedacích ploch hlavy válců.....	52
3.7	Honování vodítek ventilů.....	56
4	Popis a vyhodnocení výsledků experimentů.....	59
5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	65
6	Zdroje.....	66
7	Seznam obrázků.....	68
8	Přílohy.....	71

Seznam použitého označení

Q_p	[J]	množství přivedeného tepla
Q_o	[J]	množství odvedeného tepla
η_t	[-]	termická účinnost
λ	[-]	součinitel přebytku kyslíku ve výfukových plynech
M_v	[kg]	hmotnost suchého vzduchu ve směsi
M_p	[kg]	hmotnost paliva ve směsi
L_{VT}	[kg]	teoretické množství vzduchu potřebné k oxidaci 1 kg paliva
ε_k	[-]	kompresní poměr
V_z	[cm ³]	zdvihový objem jednoho válce
V_k	[cm ³]	kompresní objem
k	[-]	poměr měrných tepel
v_c	[mm/min]	řezná rychlost
D	[mm]	průměr obráběné plochy
n	[min ⁻¹]	počet otáček vřetene
f_z	[mm]	posuv obrobku na jeden zub frézy
f_n	[mm]	posuv obrobku za jednu otáčku frézy
z	[-]	počet zubů nástroje
v_n	[mm/min]	posuvová rychlost
h_i	[mm]	tloušťka třísky
Φ_i	[°]	úhel posuvového pohybu
A_{Di}	[mm]	jmenovitý průřez třísky
a_p	[mm]	hloubka řezu
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
b	[mm]	šířka třísky
p	[Pa]	tlak
Q_m	[kg/s]	hmotnostní průtok vzduchu

Úvod

Spalovací motory používané nejen v silničních vozidlech jsou konstruovány s ohledem na účinnost, spolehlivost, kultivovanost chodu, spotřebu pohonných hmot a poslední desítky let, se stále větším důrazem, na hodnoty emisí výfukových plynů. Klasické produkční vozy určené pro osobní přepravu splňují uvedená kritéria, avšak skrývají možnosti pro zlepšení výkonových charakteristik. Nezřídka toho využívají sportovní modely sériově vyráběných vozů, přičemž zůstávají spolehlivé jako klasické vozy. I spotřeba paliva a hodnoty emisí výfukových plynů bývají u nynějších sportovních modelů velmi podobné stejným modelům klasického provedení.

Mimo čistě sériovou výrobu jsou stavěny také vozy soutěžní, ať už tovární nebo upravené specializovanými úpravci. Motory těchto vozů mají maximální účinnost a jsou naladěny na dané závodní použití. Vysokému měrnému výkonu je podřízena životnost motoru i spotřeba paliva. Charakteristiky výkonu a točivého momentu jsou naprosto odlišné od běžného motoru civilního automobilu. I když jsou tyto motory vysoce výkonné, pro běžné užití v osobní dopravě nejsou příliš vhodné.

Jakékoliv úpravy spalovacího motoru vedoucí k vyššímu výkonu a lepším hodnotám točivého momentu jsou ve své podstatě zvyšováním účinnosti motoru. To je věc kterou je potřeba se zabývat. S ohledem na životní prostředí je účinnost motoru vysoce důležitá. Zvýšíme-li účinnost motoru, budeme mít k dispozici stejný výkon při menší spotřebě paliva, což přímo ovlivní i hodnoty emisí výfukových plynů.

Mým cílem v rámci této bakalářské práce je návrh úpravy sériové hlavy zážehového motoru. Vzhledem k tomu, že hlava motoru poskytuje naplnění a vyprázdnění objemu válce motoru, je zároveň součástí spalovacího prostoru a nabízí tak mnoho možností pro zvýšení účinnosti motoru. Hlava válců bude obrobena pro lepší proudění čerstvé směsi do válce, hoření směsi, a vyprázdnění spalovacího prostoru. Před vlastní úpravou je nutné provést návrh úprav z hlediska fungování motoru. Jakmile budou známy požadované hodnoty rozměrů, bude možné určit nástroje a obráběcí podmínky pro požadovaný výsledek.

1 Obecná charakteristika daného problému

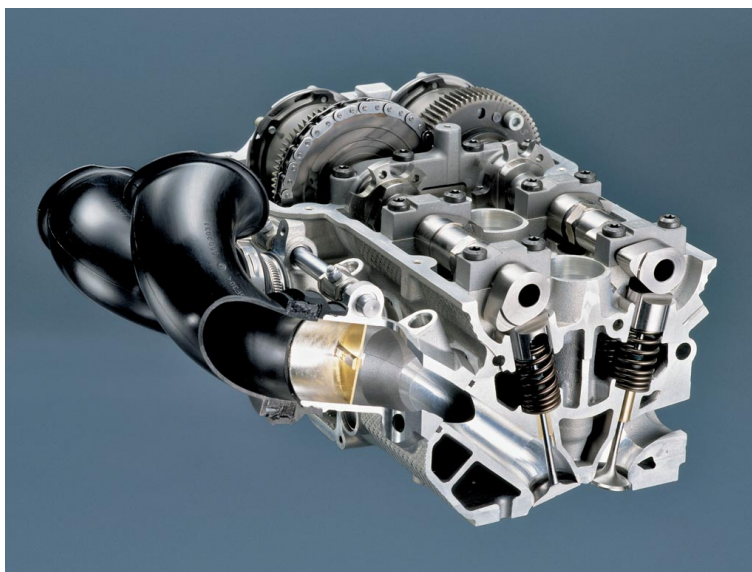
Při úpravě i výrobě spalovacích motorů je hojně využito obrábění. Při výrobě spalovacích motorů jsou vyrobeny polotovary, ať už litím, tvářením či jiným technologickým způsobem výroby. Přesto, že se kvalita výroby odlitků stále zlepšuje, je nutné polotovary nějakým způsobem upravit pro finální použití. Z velké části je zastoupeno obrábění, poté frézování a broušení. A právě frézování je v případě obrábění hlavy motoru velice důležité. Na čerstvém odlitku je nutné provést vývrty pro mazání a vodítka ventilů, vyfrézovat otvory pro sedla a pružiny ventilů, dále upravit vstupní a výstupní otvory sacích a výfukových kanálů v hlavě válců. Konečně jsou frézovány či broušeny dosedací plochy na blok motoru a víko ventilů.

V případě úpravy již vyrobené sériové hlavy válců jsou některé výše zmíněné práce vypuštěny z technologického postupu. Přitom ostatní práce jsou provedeny s vyšším požadavkem na výslednou kondici dílu. Při úpravě nové nebo i použité hlavy válců ve většině případů úplně odpadá vývrt mazacích kanálků a vodítek ventilů která mohou být vyměněna. Ke zpracování zůstávají sedla ventilů, která bývají často vyměněna za jiná s ohledem na použití větších ventilů. Sedla ventilů jsou frézována s vysokou pečlivostí a jejich zpracování korespondující s tvarem ventilů velmi ovlivňuje výkon motoru. Ventily bývají soustruženy a broušeny. Před finálním obráběním sedel ventilů je upravován tvar sacích a výfukových kanálů v hlavě motoru a to za použití fréz upnutých do elektrického ručního nářadí. Tím jsou vyhlazeny nedokonalosti a přechody v kanálech hlavy. Spalovací prostor v hlavě válce bývá upraven obdobně jako je uvedeno výše, případně je proveden vývrt pro užití jiného typu pístů. Při instalaci větších ventilů je nutné vymezit jim prostor ve spalovacím prostoru, což je realizováno frézováním. Jak už bylo zmíněno o pár řádků výše, v postupu úpravy hlavy válců je zahrnuto i broušení. Broušení je téměř závěrečná operace pro drobné korekce a sjednocení povrchu. V případě ventilových sedel a ventilů je využito lapování za pomoci brusné pasty pro dokonalý a funkční povrch. Závěrem je plocha dosedací na blok motoru, resp. Těsnění, sfrézována pro dosažení požadovaného kompresního poměru. O funkci jednotlivých prvků hlavy válců pojednává kapitola 1.1, vlastní návrh technologie je uveden v kapitole 3.

Z výše uvedeného plyne vysoká důležitost kvality obrábění. Vysoké požadavky jsou kladeny nejen na stroj ale i na technika, který jej obsluhuje. Pokud je ovšem nevhodně proveden návrh a příprava, kvalitní zpracování může být k ničemu, případně realizace nebude vůbec možná. Problematika frézování je popsána v kapitole 2.

1.1 Hlava válců

Hlava válců je důležitým dílem spalovacího motoru. Uzavírá prostor válců motoru, zprostředkovává výměnu náplně válců a jsou v ní uloženy díly ventilového rozvodu. V téměř všech čtyřdobých zážehových motorech jsou částmi rozvodu v hlavě válců vždy sací a výfukové ventily, vahadla a ventilové pružiny s talířkem pružiny. Sací a výfukové ventily otevírají a uzavírají sací a výfukové kanály, pohybují se přitom ve vodítkách ventilů směrem do válce motoru při otevírání a směrem z válce při zavírání. Při uzavírání ventily dosedají do sedel ventilů vytvořených nebo vložených v materiálu hlavy válců. Sací a výfukový zdvih jsou realizovány zdvihátky, rozvodovými tyčkami a vahadly (v případě OHV rozvodu), závislé na časování vačkové hřídele. Ventilových pružin je použito nejen k uzavírání ventilu, ale též zaručují správný průběh otevírání a zavírání ventilu.



Obrázek 1: Hlava válců BMW M5 V10¹

Spolu s ventily tvoří hlava motoru část spalovacího prostoru. Je nutné aby hlava i ventily odolávali vysokým teplotám a jejich změnám. Nejen v těchto oblastech hlavy válců je důležité kvalitní chlazení. Teplo je ve vodním kanálu uvnitř hlavy předáváno chladicí kapalině, která jej odvádí to tepelných výměníků, kde je dále využito nebo přímo chladičem přímo do okolní atmosféry. Pro díly ventilového rozvodu je nutné mazání, které se též stará o chlazení dříků ventilů. Olej je pod tlakem přiváděn z bloku motoru, po jeho využití odtéká kanály přes blok motoru do olejové vany.

Hlava válců musí být dostatečně tuhá, aby bylo zaručeno utěsnění spalovacích prostor, chladicího a mazacího okruhu a funkce ventilového rozvodu. Konstrukce hlavy je podřízena sacím a výfukovým kanálům, vodnímu kanálu, ventilovému rozvodu a bloku motoru.

K bloku motoru je hlava upevněna buď šrouby nebo maticemi přes svorníky. Mezi hlavou a blokem motoru je vloženo těsnění. Mimo spoje hlavy s motorem je nutné na hlavu montovat sací a výfukové sběrné potrubí. Potrubí přímo navazují na sací a výfukové kanály v hlavě a s těsněním jsou montována přes svorníky v hlavě motoru.

"Materiálem používaným na odlitky hlav je šedá litina nebo hliníkové slitiny. Výhodou šedé litiny je vysoká pevnost, tuhost, tepelná stabilita a nízké výrobní náklady. U méně zatížených motorů není nutno používat vkládaná sedla a vedení ventilu může být vyrobeno přímo v materiálu hlavy. Nevýhodou je vysoká hmotnost a malá tepelná vodivost. Tyto nevýhody se výrazně projeví u motorů osobních automobilů. V současné době převládají u těchto motorů hlavy odlévané z Al slitin, a to i v případě, kdy blok motoru je odlit z šedé litiny. Jednoznačné je použití hliníkových slitin u hlav válců vzduchem chlazených motorů. Nevýhodou je vyšší tepelná roztažnost a tedy i náchylnost k deformacím. Taktéž cena dosahuje až 2,5 násobku ceny litinového odlitku. Nutností jsou vkládaná sedla ventilů, vodítka ventilů a v některých případech i vložky pro závit zapalovací svíčky."^[1]

Ventily

Uzavírají spalovací prostor v době stlačování a hoření směsi. Otevřením ventilů je umožněno proudit čerstvé směsi do válce a výfukovým plynům z válce motoru. Ventily jsou tvořeny talířkem a dříkem ventilu. Jsou umístěny kanálech hlavy motoru.



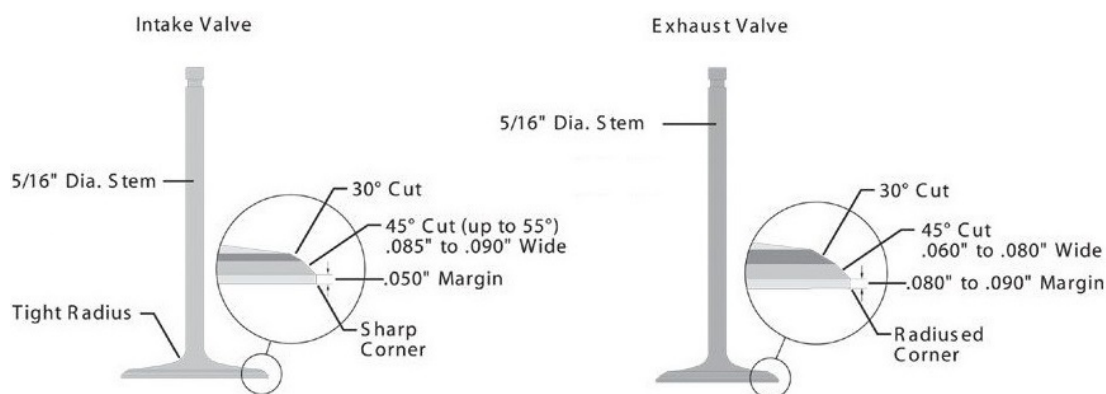
Obrázek 2: Ventily s pružinami, miskami a gufery

Talířek ventilu dosedá na rozmezí kanálu a spalovacího prostoru, do tzv. sedla ventilu. Dřík ventilu prochází v kanálu vodítkem ventilu směrem ven z hlavy a značně vyčnívá z vodítka ventilu, kde je v ose ventilových pružin, která se starají nejen o přítlak ventilu do sedla.

Pružina ventilu je s ním spojena miskou a kuželovými dělenými klínky zapadajícími do zámku na konci dříku ventilu. Tento spoj umožňuje otáčení ventilu pro rovnoměrné opotřebení a čištění dosedacích ploch misky a sedla ventilu.

Ventily jsou nejvíce namáhanou součástí motoru, a to zejména výfukové. Je nutné aby odolávaly vysokým teplotám i opotřebení jak těsnící plochy, tak dříku. Materiál pro výrobu ventilů je ve většině případů křemíkem legovaná ocel. Pro náročné podmínky jsou používány ventily z titanu, kde se těží z jejich nízké hmotnosti. Výfukové ventily z austenitických ocelí jsou legovány 13% chromu a stejným množstvím niklu. Tímto složením si ventily zajistí vysokou pevnost i za vysokých teplot. Protože se tento materiál nedá kalit, namáhané části jsou navařovány stelitem nebo nástrojovou ocelí. Dřík ventilu je povlakován tvrdochromem pro odolnost opotřebení. Dalším prvkem, který pomáhá udržet vhodnou teplotu výfukových ventilů je sodík. Tento prvek je separátně obsažen v dutině ventilu, která je vytvořena ve dříku či dříku i talířku ventilu. Dutina je vytvořena pouze vyvrtáním, případně kováním a zavařena hlavou dříku. V případě kdy je dutina i v talířku ventilu je pro uzavření ventilu navařeno dno talířku. Sodík nevyplňuje celou dutinu, tím pádem po zahřátí a zkapalnění je schopný přelévání uvnitř ventilu, čímž odvádí teplo dál do dříku, kde je předáváno nejen vodítku, ale i oleji.^{2,3}

Velmi důležitá je geometrie ventilu, resp. jeho tvar. Hlavním prvkem je úhel dosedací plochy ventilu, který je společný s úhlem sedla ventilu. Zpravidla tento úhel bývá 45°, ale může se lišit podle použití. Správné proudění ventilem je dáno také úhlem plochy talířku (kuželovitostí) a následným přechodem zaoblením na dřík ventilu. Dále může být přidán úhel na horní stranu ventilu pro lepší tok vzduchu a úhel nebo zaoblení hrany dna ventilu.



Obrázek 3: Tvar sacího a výfukového ventilu (zleva)²

Sedla ventilů

Sedly ventilu jsou nazývána vyústění kanálů do prostoru válce tvoří zároveň styčnou plochu s talířkem ventilu, když je ventil zavřený. Mohou být obrobena přímo v materiálu hlavy válců v případě litinových hlav nebo vložena do hlav hliníkových. Použití litinové hlavy bez vložených sedel ventilů ovšem vyžaduje použití benzínu s obsahem olověných prvků které mažou styčnou plochu sedla a ventilu, navíc zvyšují oktanové číslo benzínu. Olovnatý benzín je ale již minulostí, proto je nutné benzín aditivovat speciálními přípravky nahrazující olovo. Aditiva zabraňují deformaci sedel vlivem vysokého namáhání.

Pokud jsou sedla vkládána do hlavy válců, je několik způsobů. Sedla mohou být nalisována s přesahem, mnohdy s drážkováním po obvodu. Dále mohou být nalisována a zaválcována materiálem hlavy nebo zašroubována a opět pojištěna zaválcováním.²

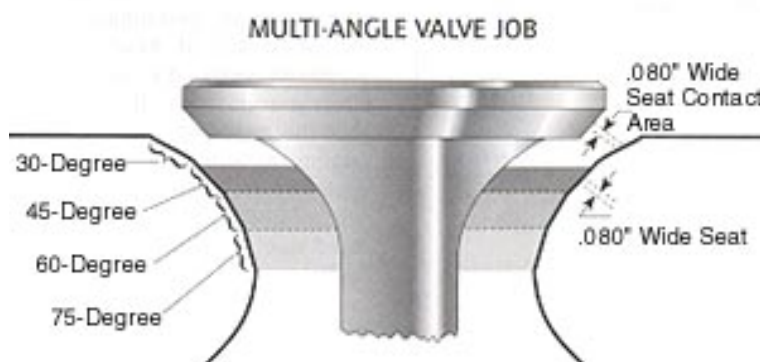
Materiál vložených sedel bývá litina s příměsí niklu, mědi a chrom nebo žárovevná ocel. Vysoce namáhané motory používají vysokolegované oceli, případně je dosedací plocha pokryta návarem vysokolegované žárovevné slitiny nebo tvrdokovu. Dále mohou být sedla vyráběna ze speciálních hliníkových bronzů nebo slitin beryllia a mědi.⁴



Obrázek 4: Ventilová sedla³

Tak jako u ventilu, je u sedla důležitá geometrie. Standardně jsou použita tři zkosení. Dosedací plocha pro ventil má stejně jako ventil úhel 45°. Tloušťka plochy bývá zhruba 1,6mm. Pro výfukový ventil je tato plocha vždy větší, než pro ventil sací, aby zabezpečila dostatečný odvod tepla z talířku ventilu. Úhel dosedací plochy ventilu je zřídka používán 30° nebo 60°. Tyto úhly dovolí efektivnější proudění vzduchu/směsi do motoru při pecifickém užití motoru. Nahoře (směrem do spalovacího prostoru) bývá zkosení 30°. Toto zkosení

zajišťuje lepší proudění vzduchu mezi ventilem a sedlem do válce při nižším zdvihu ventilu. Jeho plocha/hloubka je závislá na zapuštění ventilu v sedle a tloušťce stěny sedla, bývá obdobná hloubce dosedací plochy ventilu. Zadní zkosení (směrem do kanálu) bývá kolem 75°. Některé úhly mohou být nahrazeny rádiusy.



Obrázek 5: Geometrie ventilového sedla⁴

Vodítka ventilů

Poskytují vedení ventilu v hlavě válců. V případě litinových hlav válců jsou vodítka obrobena přímo v materiálu hlavy. Při opravách a v případě hlav válců z hliníkových slitin jsou vodítka vyrobena zvlášť a do hlavy zalisována. Vodítka musí mít dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení. Ventil bývá ve vodítku uložen s radiální vůlí 0,04-0,08mm. Důležitou vlastností vodítek ventilů je chlazení ventilu skrze jeho dřík.⁴

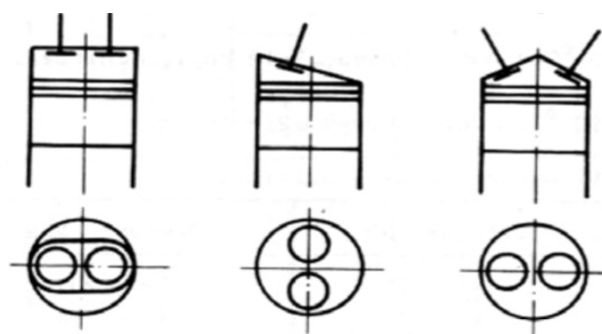
Vodítka ventilů jsou vyráběna převážně ze šedé litiny, případně hliníkového bronzu. Šedá litina může být legována chromem, manganem nebo niklem pro zvýšení odolnosti proti zadření a korozi. Hliníkový bronz jako materiál vodítek ventilů je využit v motorech s vyšším teplotním namáháním pro jeho dobrou tepelnou vodivost.⁵



Obrázek 6: Vodítko ventilu, příklad použití

Spalovací prostor

Spalovací prostor je tvořen válcem, pístem a hlavou válců, resp. uvnitř sestavy těchto dílů. Tvar spalovacího prostoru je výsledkem mnoha požadavků. Jeho objem musí být velký natolik, aby bylo dosaženo potřebného kompresního poměru a rozložen co nejvýhodněji pro míchání a hoření směsi. Tvarování spalovacího prostoru značně ovlivňuje výkon motoru, a to kladně i záporně. Při správném tvarování i v souladu s tvarem kanálů, velikostí a umístěním ventilů může výrazně zvýšit potenciál motoru. Naopak při špatném tvaru, nesprávném víření směsi a špatném prostupu plamene je možné značně zmařit možnosti motoru. Podstatný vliv na spalování mají ostré hrany nebo výčnělky, které mohou dosahovat vysokých teplot. Tato horká místa způsobí detonační spalování které snižuje výkon a efektivitu motoru i jeho životnost. Opatřeními proti detonacím jsou redukce potencionálních horkých míst a vytváření antidetonačních šterbin. Tvar spalovacího prostoru je tedy velmi důležitý pro efektivní spalování směsi. Základní tvary spalovacích prostorů jsou vyobrazeny na *obr. 7*.



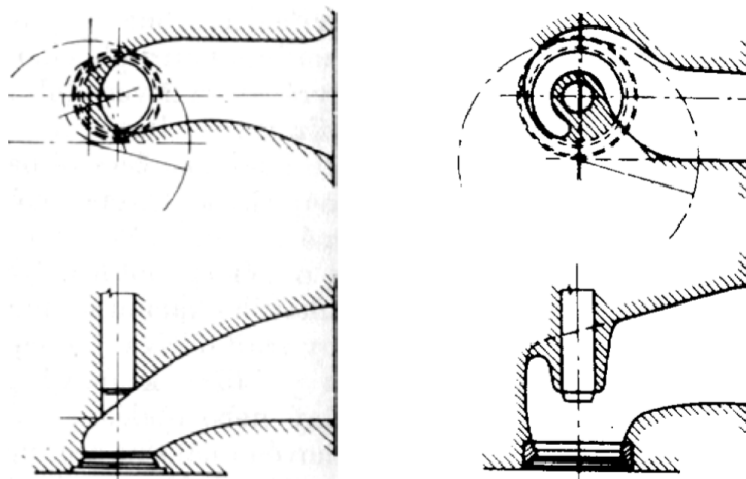
Obrázek 7: Spalovací prostory, základní⁵

Sací a výfukový kanál v hlavě motoru

Pro efektivní využití objemu motoru je důležitá průchodnost a vlastnosti sacích a výfukových kanálů. Tvar a velikost kanálů nejsou závislé pouze na požadavcích pro optimální vyplachování motoru, ale je třeba počítat i s užitím motoru, konstrukcí ventilového rozvodu, způsobu řízení motoru a též i karoserií vozidla, ve které bude motor použit. Záleží zda jsou vyvedeny sací kanály na jedné a výfukové kanály na druhé straně motoru nebo oboje na jedné straně. S tím je spojené i chlazení výfukového kanálu a především výfukového ventilu. V případě sacího potrubí je rozhodující i příprava směsi a umístění jejích prvků, viz *obr. 1*.

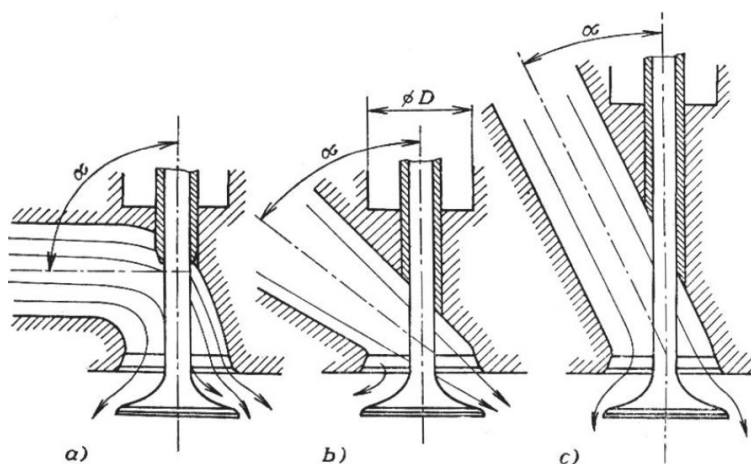
Provedení sacího kanálu je pro výslednou účinnost motoru zásadní. Jestliže je směs paliva a vzduchu připravena mimo válec, proudí tato směs sacím kanálem. Protože palivo má odlišné vlastnosti než čistý vzduch, chová se směs při průchodu kanálem jinak než čistý vzduch.

Sací kanál by měl být co možná nejpřímější. Každý prudký záhyb nebo nerovnoměrnost v sacím kanálu či celém porubí může způsobit vznik místních turbulencí, které působí jako odpor pro proudící vzduch. Proto je snaha navrhovat kanály co nejpřímější a všechny změny směru nebo překážky dělat plynulé. Mimo to jsou kanály tvarovány i pro úpravu proudu nasávaného vzduhu, kdy je zlepšeno promíchání směsi a následné hoření ve válci. Příkladem jsou tangenciální nebo šroubovitý kanál (obr. 8).



Obrázek 8: Tangenciální, šroubovitý kanál⁶

Na tvaru kanálu se významně podílí ventilový rozvod. Při napřímování kanálu se zvětšuje úhel mezi osou kanálu a ventilu. Dřík ventilu je nutné prodloužit, což zvedá jeho hmotnost. Hmotnost v pohyblivých částech motoru je velice důležitá. V tomto případě je zvýšenému namáhání vystaven celá ventilový rozvod. Pokud je i přesto výhodné použít přímější sací kanál, je nutno mu podrobit zbytek konstrukce hlavy motoru (obr. 9).

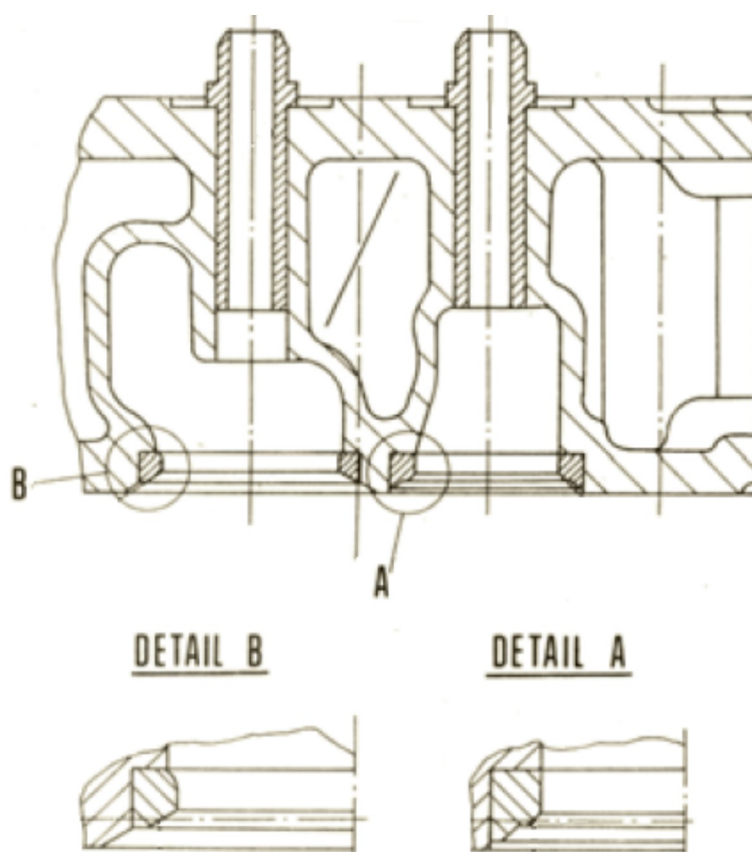


Obrázek 9: Různé tvary kanálů⁷

Jsou případy, kdy je nutné použít kanál s velkou změnou směru. Největšího zakřivení je zpravidla dosaženo v oblasti sacího ventilu. Velká změna směru kanálu je zde mírně komplikována i přítomností ventilu, resp. jeho dříku, vodítka a nálitkem pro vodítko.

Pro výfukový kanál platí obdobná pravidla jako pro kanál sací. Nejdůležitějším parametrem v případě výfukového kanálu je, aby byl v hlavě motoru co nejkratší. Čím delší je kanál v hlavě válců, tím více tepla předává hlavě, která musí být intenzivněji chlazena, což klade zvýšené nároky na výkonnost chladicí soustavy motoru. Obzvláště je to zbytečné tehdy, pokud lze tepelnou energii výfukových plynů ještě využít například pro pohon turbodmychadla nebo funkci emisních systémů. Nové motory už ovšem používají hlavy válců s výfukovými svody integrovanými v hlavě válců. V tomto případě je velmi důmyslně řešený okruh chladicí směsi, který dokáže hlavu válců uchladit.

Výfukový kanál disponuje výhodou, že výfukové plyny jsou vytlačovány vyšším tlakem, než je nasávaný čerstvý vzduch. Tím pádem se snáze omluví i horší tvar výfukového kanálu. Potom co výfukové plyny projdou přes ventil a sedlo ventilu, prochází větším průřezem kanálu. V případě výfukového kanálu je zde ovšem znatelný vložený objem nálitkem vodítka ventilu. Protože výfukové plyny dosahují vysokých teplot, je nutné ventil účinně chladit, a chránit neobnaženou část dřívku před velkým množstvím tepla. Tomu pomáhá mnohdy větší náledek vodítka ventilu a dobré chlazení této oblasti. Dále kanálem směrem ven z motoru už nebývá žádná překážka a výfukovým plynům nic nebrání v průchodu do výfukového potrubí.



Obrázek 10: řez hlavou válců⁸

1.2 Účinnost motoru

Účinností motoru rozumíme poměr vložené energie a vykonané práce. Celková účinnost je ovlivněna kvalitou naplnění válce směsí paliva a vzduchu, kvalitou hoření a mechanickými ztrátami. Mechanickými ztrátami se nyní nemusíme zabývat. Důležitá je pro nás kvalita naplnění válce a hoření směsi. V tomto ohledu rozlišujeme účinnost tepelnou a objemovou.

Tepelná účinnost (1) vyjadřuje množství tepla uvolněného hořením směsi paliva se vzduchem Q_p , které se přemění na mechanickou práci, tedy pohon vozidla (bez ztrát) a tepla z motoru odvedeného Q_o . Maximální tepelné účinnosti je dosaženo při chudé směsi paliva se vzduchem, kdy je paliva méně, než udává stechiometrický poměr (2), viz. Obr. 11.^{6,8}

$$\eta_t = \frac{Q_p - Q_o}{Q_p} \quad (1)$$

Součinitel přebytku kyslíku λ , udává hmotnostní množství vzduchu, které je zapotřebí pro spálení 1kg paliva. Pro automobilový benzin je množství vzduchu 14,7kg a pro líh 8,9kg vzduchu, pak se jedná o stechiometrický poměr. Hodnoty se mohou lišit v závislosti na podílu jednotlivých složek v palivu.

$$\lambda = \frac{M_v}{M_p \cdot L_{VT}} \quad (2)$$

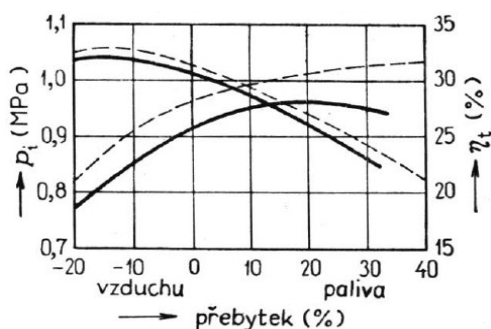
M_v hmotnost suchého vzduchu ve směsi [kg]

M_p hmotnost paliva ve směsi [kg]

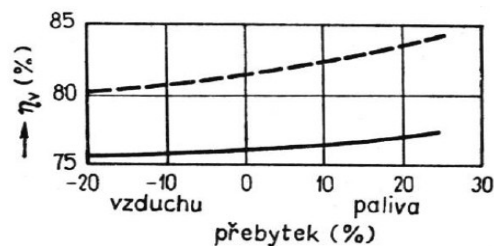
L_{VT} teoretické množství vzduchu, potřebné k dokonalé oxidaci 1kg paliva [kg]⁷

Díky přebytku vzduchu je spáleno všechno palivo v náplni válce. Motor však nevyužívá plně svého potenciálu. Tohoto efektu je využíváno u karburátorových motorů, kdy v režimu volnoběhu a částečného zatížení motor pracuje s mírně chudou směsí, při větší akceleraci fungují další prvky karburátoru, které směs potřebně obohatí.

Objemová účinnost zahrnuje využití pracovního objemu válce. Maximálních hodnot objemové účinnosti je dosaženo při bohatší směsi paliva ze vzduchem, než udává stechiometrický poměr. Směs je tedy bohatá, což zapříčiňuje, že všechny kyslík v náplni válce je využit k hoření paliva. Bohatá směs je motoru dodávána při požadavku na co nejvyšší možný výkon motoru. Výsledkem hoření jsou tedy i zbytky paliva, narozdíl od chudé směsi, kdy je ve výfukových plynech obsažen ve velké míře i kyslík. Výše uvedené je graficky znázorněno na obr. 11, 12, kde plné křivky platí pro benzin a čárkované pro líh.⁶



Obrázek 11: Závislost středního efektivního tlaku p_i a tepelné účinnosti η_t na směšovací poměru směsi.⁹



Obrázek 12: Závislost objemové účinnosti na směšovací poměru paliva se vzduchem.⁹

Jedním z nejzákladnějších parametrů a zároveň nejčastější úpravou je změna kompresního poměru ε_k , resp. jeho zvýšení. Kompresní poměr je dán objemem válce s pístem v dolní úvrati ku objemu válce s pístem v horní úvrati (3).

$$\varepsilon_k = \frac{V_z + V_k}{V_k} \quad (3)$$

V_z zdvihový objem válce

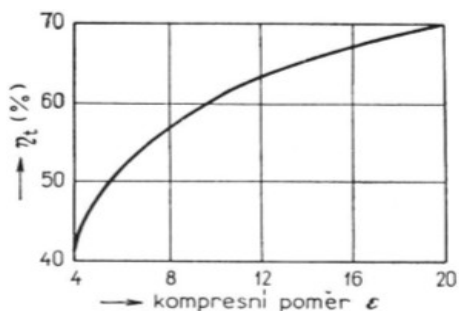
V_k kompresní objem / objem spalovacího prostoru

Pokud známe kompresní poměr a počítáme s idealizovaným oběhem, tepelná účinnost η_t se nechá zjistit pomocí následujícího vztahu (4).

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon_k} \right)^{(k-1)} \quad (4)$$

k poměr měrných tepel, roven 1,4

Při použití vyššího kompresního poměru jsou kladeny vyšší nároky na konstrukci motoru, protože vznikají větší tlaky a teploty vlivem komprese směsi a následného hoření. Mimo to je nutné dbát na možné detonace. Dodržením základních podmínek vzroste výkon a účinnost motoru. Protože účinnost motoru se nezvyšuje lineárně se zvyšováním kompresního poměru (obr. 13), bývá jeho hodnota kompromisem pro daný účel použití motoru.^{6, 8}



Obrázek 13: Závislost účinnosti η_t na kompresním poměru ε_k ¹⁰

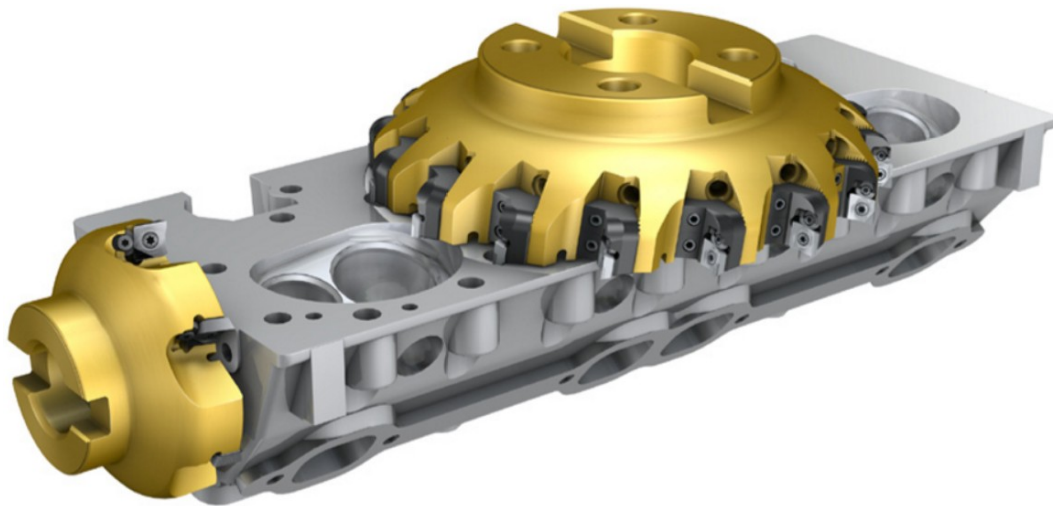
Základní parametry uvedené v této podkapitole, i dříve v této práci se mohou jevit jako nedůležité pro samotnou technologii, ale není tomu tak ani zdaleka. Pravdou je, že pokud se nám jedná o perfektní výsledek, nestačí pouze obrobit daný tvar. Můžeme si to dovolit v sériové výrobě, případně při repasi či výrobě většího množství dílů. Toto odvětví je velice obsáhlé na požadavky zahrnující specifické znalosti fungování spalovacího pístového motoru, procesu spalování, proudění směsi, resp. výfukových plynů a faktorů ovlivňujících celý proces běhu motoru. Chceme-li tedy dosáhnout nejlepších možných parametrů je nutné v každém kroku postupu dobré vědět co děláme a především proč to děláme. Každý díl je specifický a jeho finální parametry mohou být naprosto rozdílné co se týče určení použití motoru. Nyní už ale víme co je pro nás důležité a můžeme přejít k další části práce, která se bude věnovat problematice frézování jako základní operaci pro tuto práci, dalším obráběcím postupům a konečně samotnému obrábění hlavy válců.

2 Problematika frézování

Frézování je velmi obsáhlý soubor možností obrábění. Kvalita obrobených ploch je vysoká při dosažení krátkých výrobních časů. Obrábět je možné rovinné, rotační i tvarové plochy. Běžně se frézují drážky, závity i ozubení. Pro využití v obrábění dílu motoru se frézování může jevit jako velmi účinná, téměř univerzální, technologie.

Obrábění jako takové je technologický proces, při kterém je vytvářen povrch daného tvaru, rozměrů a jakosti. Děje se tak odebíráním částic materiálu ve formě třísek pomocí ostří řezného nástroje, neboli řezáním. Obrábění je realizováno v soustavě SNOP, kdy S je obráběcí stroj, N je obráběcí nástroj, O je obrobek a P je přípravek (pokud je zahrnut v soustavě).

Hlavní rotační pohyb koná nástroj, kterým je fréza. Posuv neboli vedlejší pohyb vykonává obrobek. Obráběcím strojem je frézka, která má celkově tři osy pohybu rozděleny pro nástroj a obrobek v závislosti na konstrukci stroje. Moderní obráběcí centra umožňují pohyb až v pěti osách. Řez při frézování je přerušovaný a velikost třísek závisí na počtu zubů a řezné rychlosti, řez je tedy přerušovaný. Průřez třísek je proměnný podle metody obrábění.⁹

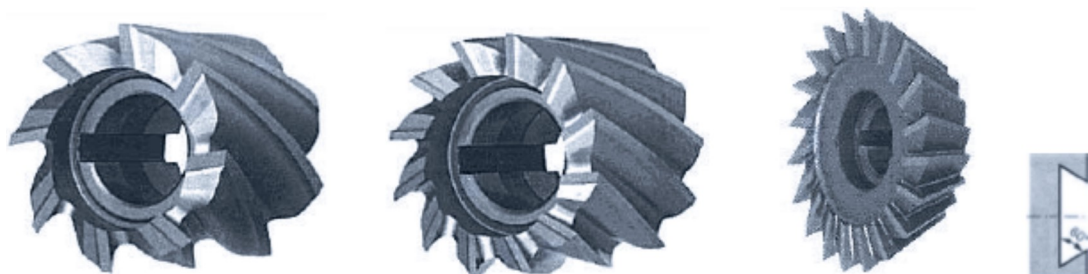


Obrázek 14: Ilustrace frézování hlavy válců¹¹

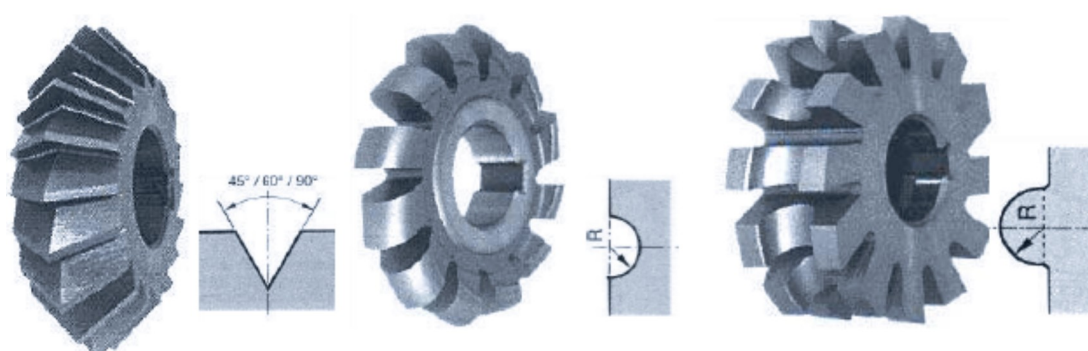
Realizace této práce zahrnuje především frézování. V celkovém postupu jsou však zahrnuty i jiné technologie obrábění. Proto v této kapitole bude pojednáno o frézování a další metody budou dostatečně popsány pro daný úkon. Stejně tak budou posány i stroje a nástroje pro obrábění daného povrchu hlavy válců.

2.1 Nástroj

Nástroj frézování nazýváme fréza, jedná se o vícebřítý nástroj jehož ostří jsou uspořádána na válcové, čelní nebo jiné geometrické či tvarové ploše nástroje. Podle tvaru se tedy frézy rozdělují na frézy čelní, válcové a válcové čelní. Tyto druhy jsou dále specifikovány podle tvaru ostří a tudíž povrchu, který vznikne obrobením. Příklady různých druhů fréz jsou uvedeny na *obr. 15, 16, 17*. Použití daných fréz je zřejmé z jejich tvaru.

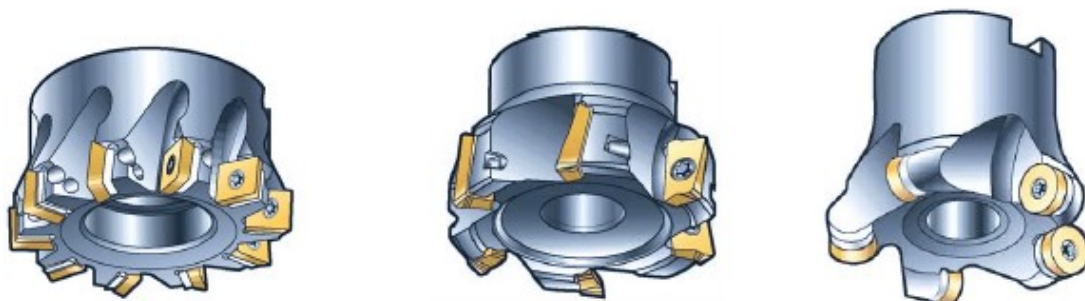


Obrázek 15: Válcové čelní frézy¹²



Obrázek 16: Tvarové frézy¹²

Výše zmíněné frézy jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu. Nyná jsou ale velmi používané frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami (*obr. 16*).

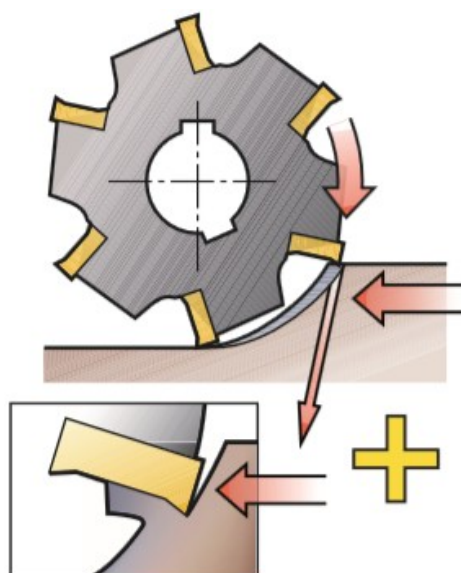


Obrázek 17: Frézy s VBD¹³

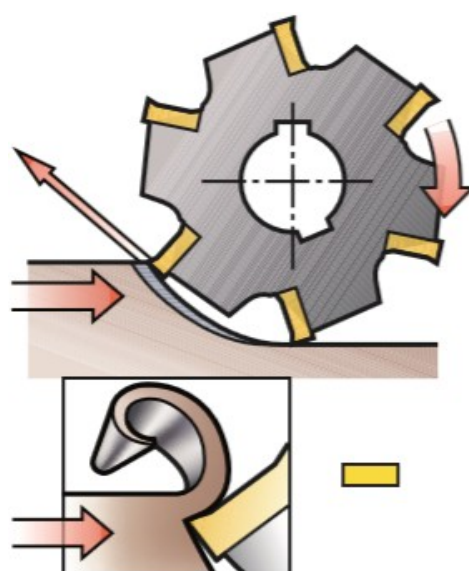
Upínání fréz do strojů je realizováno buďto nasunutím na trn u fréz s centrálním otvorem nebo upnutím pomocí válcové nebo kuželové plochy frézy – stopky.¹⁰

2.2 Specifikace frézování

Rozdělení frézování podle polohy osy nástroje vůči obráběné ploše je na frézování válcové a čelní. Při válcovém frézování je obráběno obvodem nástroje, jehož osa je rovnoběžná s obráběnou plochou. Dále je válcové frézování rozlišováno podle pohybu obrobku vůči pohybu nástroje, a to na sousledné a nesousledné. Při sousledném frézování koná obrobek přímočarý pohyb jehož směr je totožný se směrem otáčení frézy. Také lze říci, že vektory obvodové rychlosti frézy a rychlosti posuvu obrobku jsou totožné. Při nesousledném jsou tyto pohyby navzájem opačné, resp. vektory obvodové rychlosti frézy a pohybu obrobku jsou opačného směru.

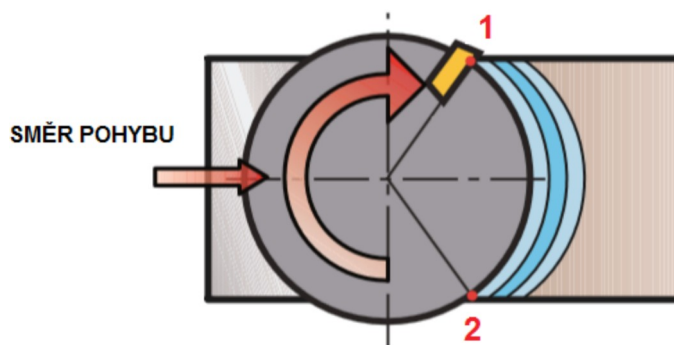


Obrázek 18: Sousledné frézování¹⁴



Obrázek 19: Nesousledné frézování¹⁴

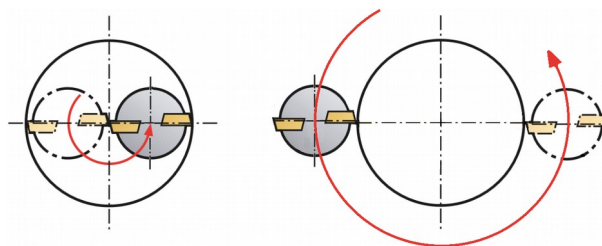
Při čelním frézování je využívána čelní plocha nástroje, jehož osa je kolmá na obráběnou plochu. Též je využito obvodu nástroje jako při čelním frézování a to pro úběr materiálu při posuvu frézy kolmém na její osu. I čelní frézování je rozděleno podle vzájemného pohybu nástroje vůči obrobku na sousledné a nesousledné.



Obrázek 20: Čelní frézování

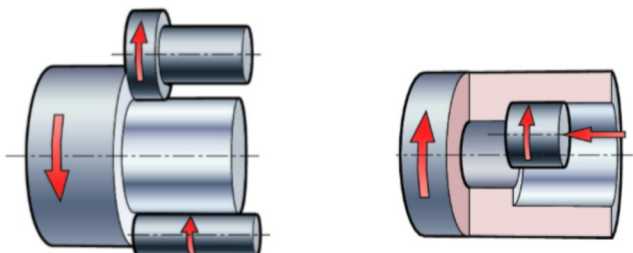
Na rozdíl od válcového frézování, zde jsou realizovány oba způsoby zároveň. Při pohledu na frézu ve směru osy této frézy (*obr. 20*) a předpokladu, že směr pohybu obrobku vůči fríze je ve směru horizontální osy na níž je umístěna šipka, je souměrné frézování realizováno od bodu 1 po směru otáčení frízy, resp. po směru vektoru obvodové rychlosti frízy. Nesouměrné frézování je poté zcela opačného směru od určené osy, tudíž proti směru vektoru obvodové rychlosti frízy.

Dalšími odvozenými způsoby jsou okružní a planetové frézování. I zde je možné obrábět souměrně či nesouměrně jako při obrábění čelním. Okružní frézování využívá vnitřní či vnější obvodové válcové plochy nástroje, který obepíná, případně je obepínán válcovým obrobkem, jejich osy jsou rovnoběžné a jejich poloha neměnná.



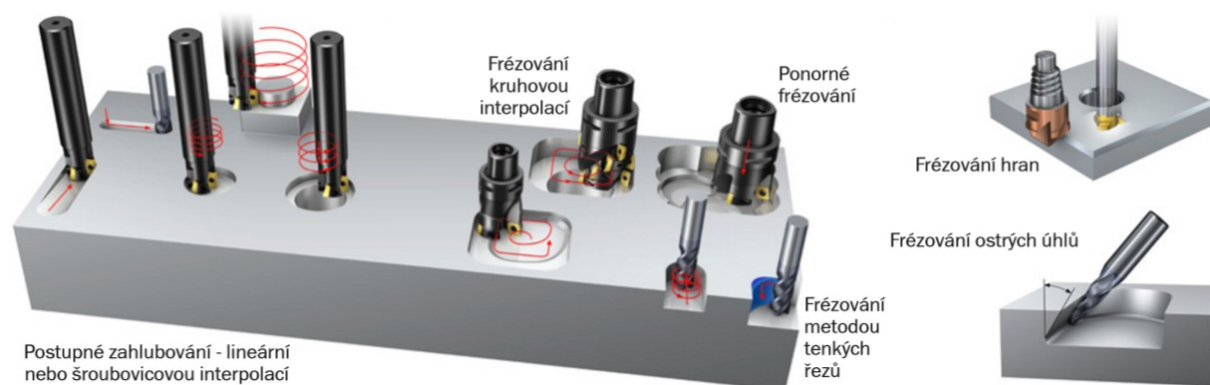
Obrázek 21: Vnitřní, vnější okružní frézování¹⁴

Při frézování planetovém je obráběno válcovou plochou nástroje, jehož osa je rovnoběžná s osou obrobku a nástroj obíhá vnitřní či venkovní průměr obrobku.



Obrázek 22: Vnější, vnitřní planetové frézování¹⁷

Kromě uvedených způsobů je velké množství dalších ať už odvozených nebo zcela odlišných způsobů frézování.¹¹



Obrázek 23: Různé způsoby frézování¹⁸

Pohyby při frézování

Hlavní řezný pohyb je pohybem nástroje vůči obrobku. Směr pohybu je dán okamžitým pohybem uvažovaného bodu ostří (1 na obr. 14).

Řezná rychlost v_c udává rychlost pohybu uvažovaného bodu ostří. Jedná se tedy o okamžitou rychlost hlavního řezného pohybu vůči obrobku.

Posuvový pohyb značí pohyb mezi nástrojem a obrobkem v kolmém úhlu vůči hlavnímu řeznému pohybu, vykonán za jednu otáčku obrobku (2 na obr. 14).

Posuvová rychlost v_f je rychlostí posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří, resp. okamžitá rychlost vedlejšího řezného pohybu vůči obrobku.

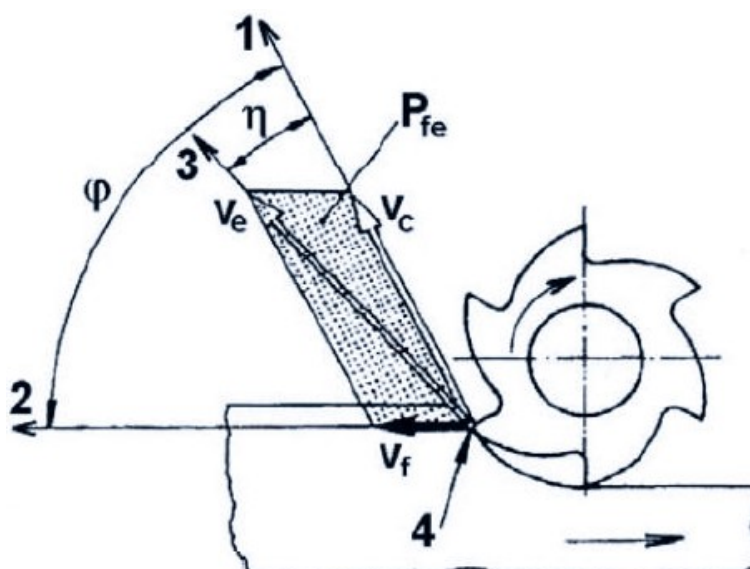
Výsledný řezný pohyb je určen vektorovým součtem pohybu hlavního a posuvového pohybu (3 na obr. 14).

Rychlost výsledného výsledného pohybu uvažovaného bodu ostří, resp. posuvového pohybu v_e je okamžitá rychlost výsledného řezného pohybu vůči obrobku.

Úhel řezného pohybu η úhel v rovině P_{fe} udávající odchylku mezi směrem hlavního a výsledného řezného pohybu.

Úhel posuvového pohybu ψ je svíráán mezi směrem hlavního řezného a posuvového pohybu, udáván v rovině P_{fe} .

Prísuv se provádí nástrojem nebo obrobkem pro ustavení do základní pracovní polohy pro požadovanou šířku záběru a_p .¹²



Obrázek 24: Pohyby při frézování¹⁹

Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c je základní veličinou obrábění. Pro zjednodušení se počítá jako obvodová rychlost nástroje.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad , \text{ kde} \quad (3)$$

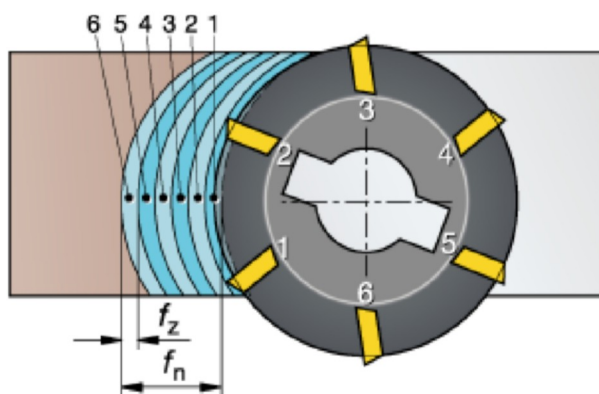
D - průměr obráběné plochy [mm]

n - počet otáček vřetene [min^{-1}]

Posuv na zub f_z je základní jednotkou posuvového pohybu. Jedná se o posuv obrobku za dobu záběru jednoho zubu frézy. Vypočteno z posuvu obrobku za jednu otáčku nástroje f_n

$$f_n = f_z \cdot z [\text{mm}] \quad , \text{ kde} \quad (4)$$

z - počet zubů nástroje



Obrázek 25: Posuv na zub²⁰

Posuvová rychlost v_n je dána posuvem obrobku za jednu otáčku nástroje f_n , případně posuvem na zub, počtem zubů a otáčkami nástroje.

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad , \text{ kde} \quad (5)$$

n - počet otáček nástroje [min^{-1}]

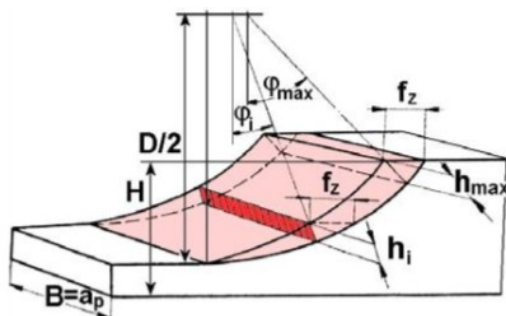
Tloušťka třísky h_i se mění od nulové hodnoty směrem hodnotě maximální při nesousledném frézování a naopak od maximální po minimální hodnotu při frézování sousledném. Výpočet jmenovité tloušťky třísky je nezávislý na směru posuvu obrobku.

$$h_i = f(\Phi_i) = f_z \cdot \sin \Phi_i [\text{mm}] \quad , \text{ kde} \quad (6)$$

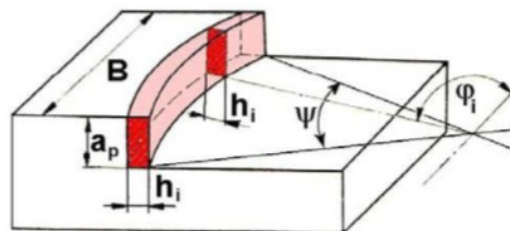
f_z - posuv na zub [mm]

ϕ_i - úhel posuvového pohybu [$^\circ$].

Úhel posuvového pohybu ϕ_i není neměnný a jeho velikost závisí na poloze konkrétního zubu, v případě frézy se šikmými zuby nebo zuby ve tvaru šroubovice se úhel posuvového pohybu mění dle umístění uvažovaného bodu ostří.



Obrázek 26: Tříska, válcové frézování²¹



Obrázek 27: Tříska, čelní frézování²¹

Jmenovitý průřez třísky se značí A_{Di} , kdy i je daná poloha frézy. Výpočet (7) je vtažen ke znázornění řezu při válcovém frézování na obr. 26.

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \Phi_i [\text{mm}^2] \quad , \text{ kde} \quad (7)$$

a_p - hloubka řezu [mm]

Maximální průřez třísky (8) bude v případě, že $\Phi_i = \Phi_{max}$, což nastane na začátku nebo konci nesousledného, resp. sousledného frézování.

$$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \Phi_{max} [\text{mm}^2] \quad (8)$$

Při čelním obrábění jsou vztahy pro výpočet třísky obdobné, avšak vliv na velikost třísky má i úhel nastavení hlavního ostří κ_r (příklad $\kappa_r=90^\circ$), situace je vyobrazena na obr. 27.

Výpočet jmenovité tloušťky třísky je tedy:

$$h_i = f(\Phi_i) = f_z \cdot \sin \Phi_i \cdot \kappa_r [\text{mm}] \quad (6)$$

Jmenovitá šířka třísky b_i se nemění pro jakýkoliv úhel posuvového pohybu ϕ_i .

$$b = \frac{a_p}{\kappa_r} [\text{mm}] \quad (10)$$

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} je poté (pro $\kappa_r=90^\circ$):

$$A_{Di} = b \cdot h_i = b \cdot f_z \cdot \sin \Phi_i [\text{mm}^2] \quad (11)$$

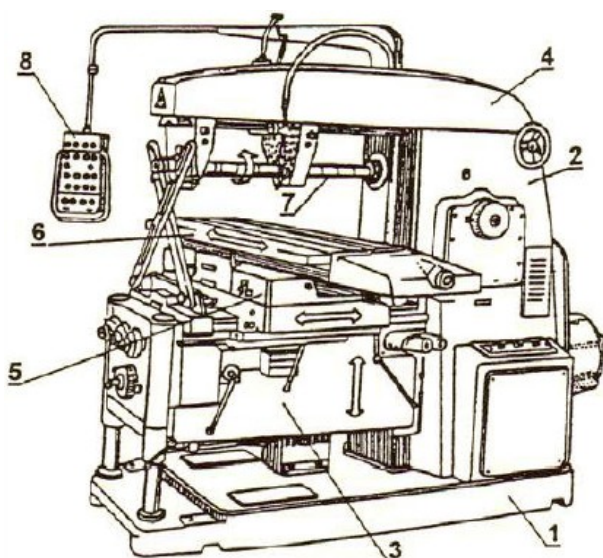
Výpočet maximálního průřezu třísky při $\phi_i=90^\circ$:

$$A_{Dmax} = a_p \cdot f_z [\text{mm}^2] \quad (12)^{13}$$

2.3 Obráběcí stroje

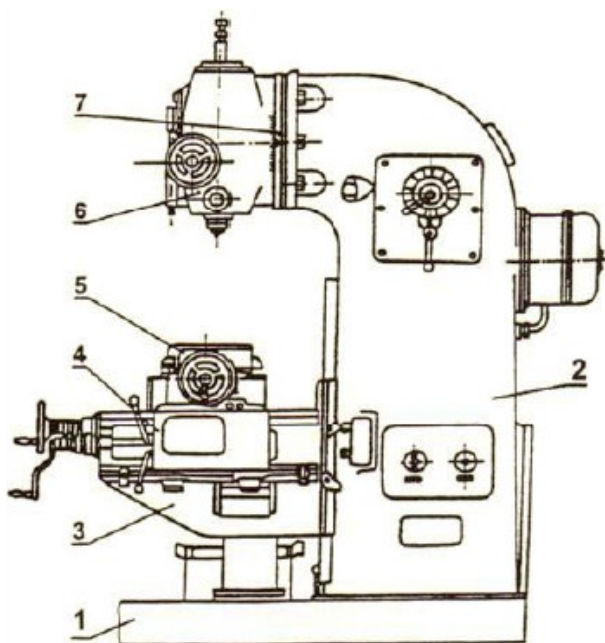
Pro frézování jsou vyráběny speciální stroje. Podle konstrukce je lze rozdělit do několika skupin, které budou popsány dále.

Frézky konzolové, umožňují pohyb obrobku ve třech na sobě kolmých osách a to pomocí vertikálně pohybující se konzoly na které je umístěn příčný a podélný stůl, kdy každý umožňuje pohyb v jedné ose. Dle polohy osy nástroje se dále dělí frézky na vodorovné, kdy je vřeteno upevněno vodorovně na pevném rameni, dále na svislé frézky s osou vřetene kolmo na pracovní stůl a možným otáčením 45° podél jedné pracovní osy. Dále jsou používány frézky univerzální, které vycházejí ze základní konstrukce vodorovných či svislých frézek.



- 1 základna
- 2 stojan
- 3 konzola
- 4 rameno
- 5 příčný stůl
- 6 podélný pracovní stůl
- 7 vřeteno
- 8 ovládací panel

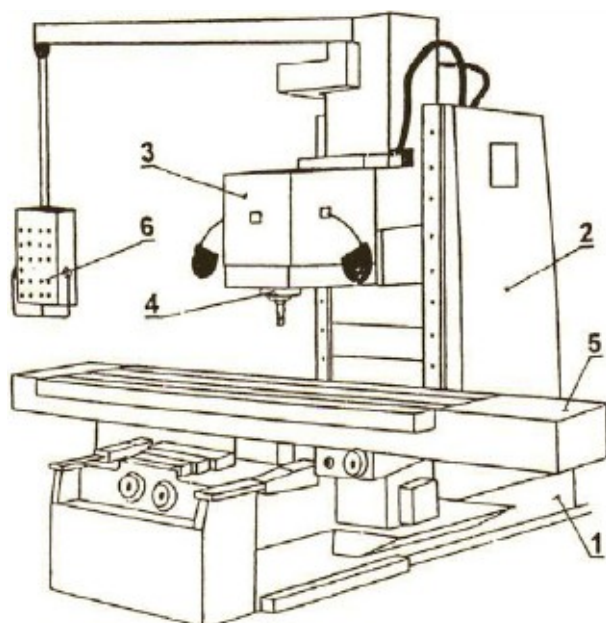
Obrázek 28: Vodorovná konzolová frézka²²



- 1 základna
- 2 stojan
- 3 konzola
- 4 příčný stůl
- 5 podélný pracovní stůl
- 6 naklápěcí vřeteník
- 7 základna vřeteníku

Obrázek 29: Svislá konzolová frézka²³

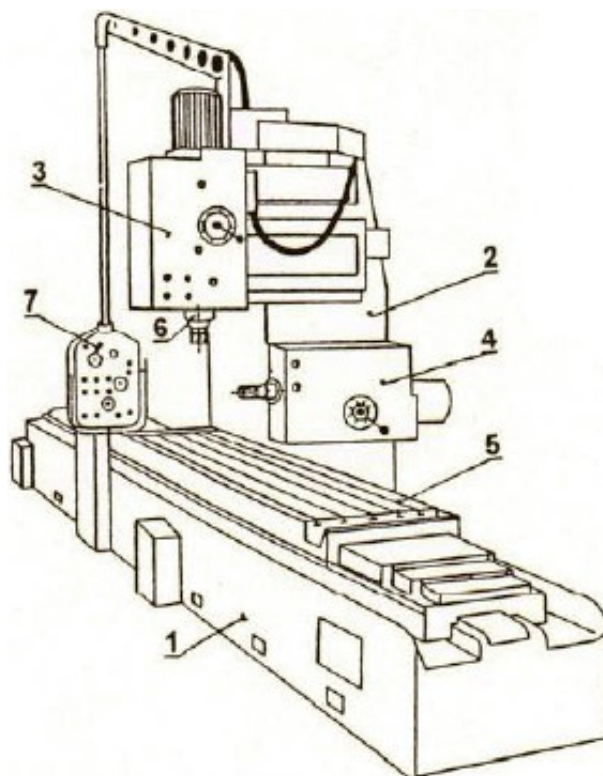
Frézky stolové liší se od frézek konzolových tím, že nemají vertikálně pohyblivou konzoli, nýbrž vertikálně pohyblivý vřeteník. Pracovní stůl se stále pohybuje ve dvou na sobě kolmých osách. Frézky vodorovné mohou být též konstruovány jako vodorovné nebo svislé.



- 1 základní deska
- 2 stojan
- 3 vřeteník
- 4 vřeteno
- 5 pracovní stůl
- 6 ovládací panel

Obrázek 30: Stolová frézka svislá²⁴

Rovinné frézky, vyznačují se vysokou robustností a umožňují tedy obrábění součástí značných rozměrů. Pracovní stůl koná pohyb pouze po jedné ose ve vodorovné rovině. Další dva na sebe kolmé pohyby koná vřeteník.¹⁴



- 1 lože
- 2 stojan
- 3 svislý vřeteník
- 4 vodorovný vřeteník
- 5 pracovní stůl
- 6 vřeteno
- 7 ovládací panel

Obrázek 31: Rovinná frézka²⁴

3 Návrh technologie úpravy hlavy válců

Návrh technologických podmínek je závislý na výchozím i požadovaném tvaru součásti. Výsledný tvar dílu se odvíjí od velkého množství aspektů. V návaznosti na popis funkce hlavy válců je nutné specifikovat tvar dílu, kterého chceme dosáhnout. Z tohoto důvodu byla provedena důkladná analýza původního tvaru dílu, resp. tvaru sacího a výfukového kanálu, sedel ventilů a tvaru spalovacího prostoru. Nejdůležitějším prvkem je oblast talířku ventilu a ventilového sedla, která je rozhodující pro účinnost plnění a vyprazdňování válce.

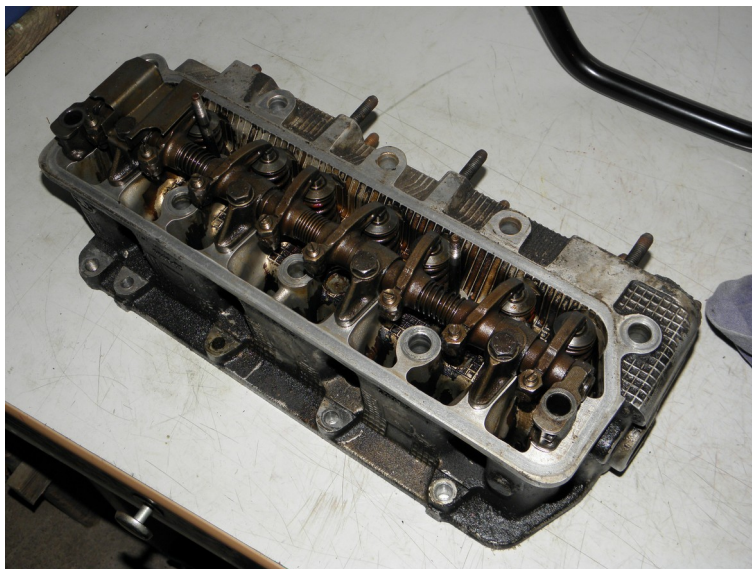
Pro analýzu původního tvaru bylo nutné tyto tvary zjistit. Nejvhodnější variantou se jeví odlití negativu dutin. A přesně tohoto bylo využito, čímž jsme získali dokonalý tvar zkoumaných dutin v hlavě válců. Pro určení vlastností originálních tvarů kanálů by tento postup byl dostačující a můžeme od něj odvíjet požadovaný tvar. Zjišťování vlastností ale může být zdlouhavé a díky tomu mnohdy zatíženo chybou závislou od náročnosti analýzy, nemluvě o fyzickém zkoušení a testování.

Máme-li ale možnost důkladnějšího zkoumání vlastností kanálů a spalovacího prostoru efektivně a s menší náročností, byla by škoda jej nevyužít. Proto byl odlitý negativ vymodelován do 3D počítačového modelu. To by se mohlo zdát téměř zbytečné, ale není tomu tak. Potom co máme počítačový model, zbývá už pouze krůček k úpravě tohoto modelu pro počítačovou simulaci proudění tekutin, neboli CFD z anglického Computational Fluid Dynamics. Tento způsob simulace je velmi efektivní, byť simulace samotná je vysoce náročná na výkon počítače a s tím spojený čas potřebný pro tuto simulaci. Nicméně po tom co počítač zpracuje všechna data, je možné pár kliknutími myši zjistit nepřeberné množství veličin a to během pár vteřin. Tyto postupy budou samozřejmě podrobněji popsány na dalších stránkách.

Potom co máme představu o výsledném tvaru dílu je možné navrhnout podmínky obrábění, nástroje a stroje, kterými bude práce realizována. Tyto podmínky, obráběcí nástroj i stroj je nutné vybrat s ohledem na materiál, tloušťku odebírané vrstvy a finální vzhled obráběné plochy. Správný sled operací je při takto rozsáhlé práci jako je komplexní úprava hlavy válců klíčový. Návrh tvaru dílu, řezné podmínky, nástroj i stroj budou důkladně popsány v jednotlivých částech této kapitoly.

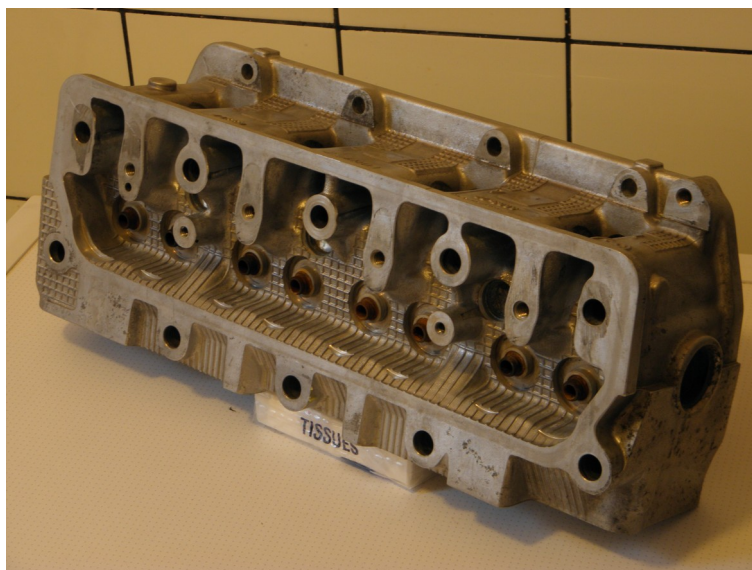
3.1 Analýza původního tvaru

Pro tuto práci byla zvolena hlava válců zážehového čtyřválcového automobilového motoru. Tento typ motoru disponuje ventilovým rozvodem OHV, zdvihovým objemem válců 1289cm^3 při vrtání 77,5mm a zdvihu pístu 72mm. Motor dosahuje výkonu 50kW při 5800min^{-1} a kroutího momentu 120Nm při 4200min^{-1} . Motor je vybaven elektronickým vstřikováním paliva do sacích kanálů. Tolik na úvod o motoru, dále již bude pojednáváno a hlavě válců.



Obrázek 32: Použitá hlava válců

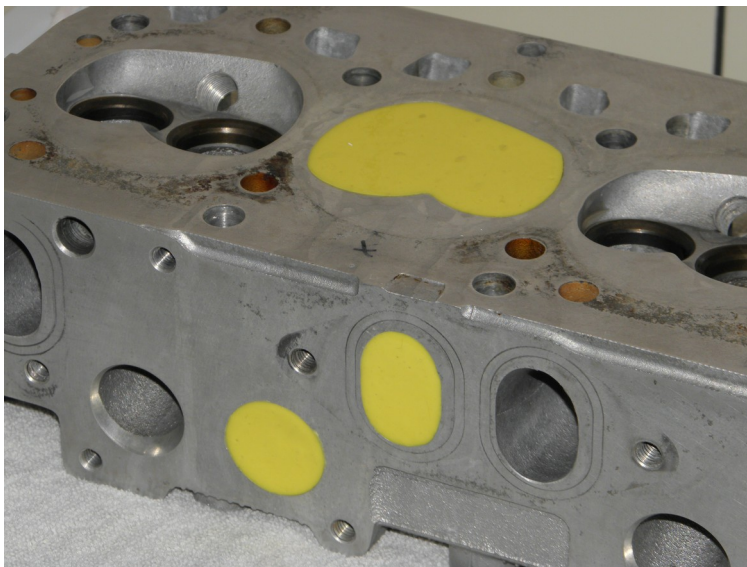
Vyobrazenou a použitou hlavu válců bylo nutné na počátku této práce nejdříve demontovat z vozu. To byla zřejmě nejsnadnější část této práce. Hlavu válců po celkové demontáži a umytí, tj. výchozí stav pro podstatu této práce je možné vidět na *obr. 33*.



Obrázek 33: Připravená hlava válců

Odlévání a modelování

Zjištění přesných rozměrů kanálů v hlavě je za pomoci běžných měřicích přístrojů velmi obtížné, spalovací prostor je v tomto ohledu přívětivější. Proto, jak už bylo zmíněno, byli sací a výfukový kanál spolu se spalovacím prostorem odlity jako negativ původního tvaru dutin v hlavě válců. Odlitky byly vytvořeny ze silikonového kaučuku, který má pro tento účel ideální vlastnosti. Jedná se o velmi elegantní metodu pro zjištění přesných rozměrů kanálu. Jak je vidět na *obr. 34*, silikonový kaučuk naprosto vyplnil celý objem kanálu.



Obrázek 34: Zalitý vnitřní objem hlavy válců

Detaily odlitku jsou perfektně reprodukovány a struktura či přechody mezi povrchy jsou dobře čitelné. Odlitím kanálů tedy získáme dokonalou představu o jejich tvarování v hlavě válců (*obr. 35*). Další studium odlitého tvaru je tedy méně náročné a vysoce přesné.



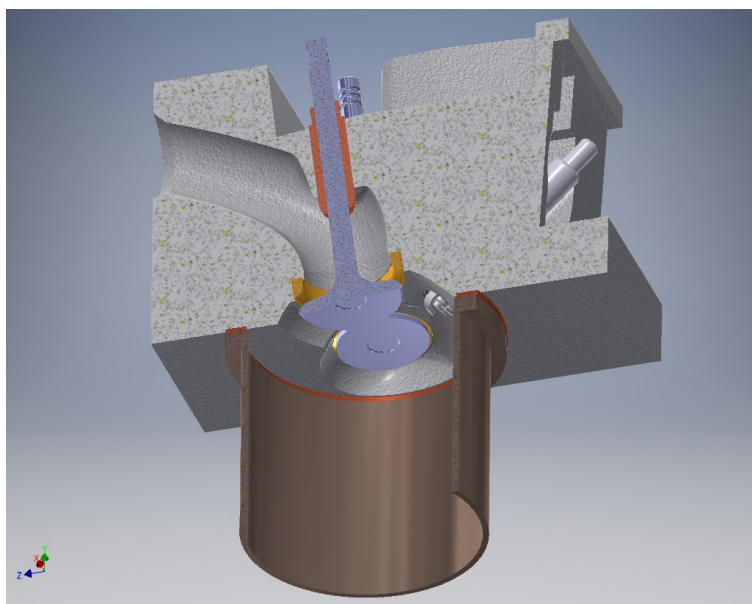
Obrázek 35: Odlitek kanálů a spalovacího prostoru

Tvar odlitků byl oměřen a překreslen do 3D počítačového modelu za pomoci CAD programu Autodesk Inventor. Po vytvoření každého kanálu a spalovacího prostoru zvlášť, byli tyto prvky sestaveny dohromady, čímž byla vytvořena počítačová kopie silikonových odlitků.



Obrázek 36: vymodelované kanály a spalovací prostor

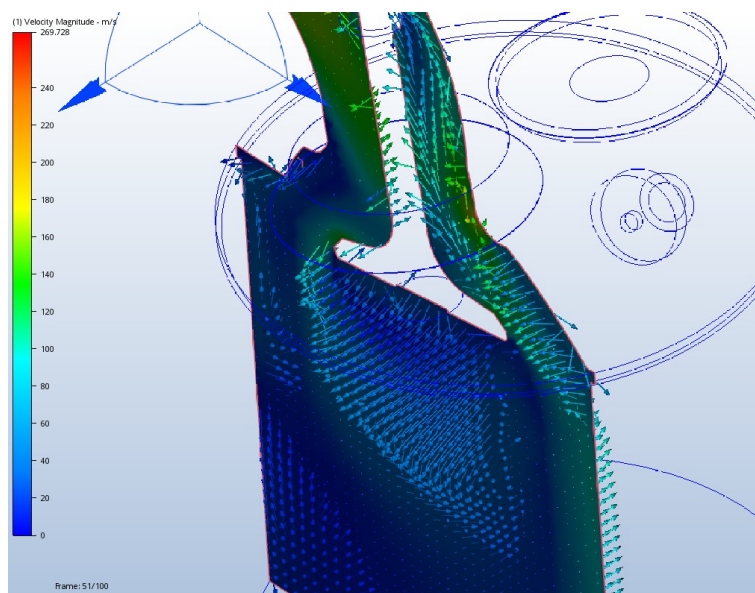
Z tohoto tvaru mohla být dále odvozena část hlavy válců, která byla dále upravena. Byla vymodelována sedla ventilů, sací a výfukový ventil, vodítka ventilů, zapalovací svíčka a vložka válce s těsněním. Všechny prvky kromě posledních dvou disponují rozměry jako jejich reálná předloha včetně, a to je velmi důležitý prvek, geometrie ventilů a sedel ventilů. Všechny zmíněné prvky ve výsledku tvoří sestavu (obr 27), která odpovídá uskupení dílů v reálně fungující hlavě válců. Tato sestava je dále využita pro simulaci proudění tekutin.



Obrázek 37: sestava hlava válců

Simulace proudění tekutin

Vlastní simulace, jak již bylo zmíněno je realizována v programu Autodesk CFD. Simulování průtoku vzduchu pomohlo při zjišťování hodnot průtoku vzduchu kanály do válce a z válce skrze ventily. Ve výsledku je zřejmé i chování náplně uvnitř válce při jeho plnění a vyprazdňování. Toto ale v omezené míře vzhledem k tomu, že simulace probíhá se statickým modelem bez pohybu ventilů a pístu, který neustále mění velikost objemu válce. Už ale i statické měření je pro nás dostačující a můžeme z něj získat obrovskou spoustu důležitých hodnot. Kromě hodnot průtoku a tlaku média je podstatná rychlost jeho proudění a směr proudění v různých oblastech objemu. Ukázka výsledků simulace je na *obr. 29*, kdy vlevo je vertikálně umístěna barevná stupnice pro odečet rychlosti proudění vzduchu a šipky mířící ven z promítané roviny řezu reprezentují směr proudění média. V okně na pravé straně obrázku jsou vypsány žádané hodnoty simulace. Tyto hodnoty jsou uloženy v libovolném rozsahu dle požadavků obsluhy a mohou být kdykoliv libovolně zkoumány ve všech oblastech prvku. Naměřené hodnoty jsou důležité pro návrh změny stávajícího stavu.

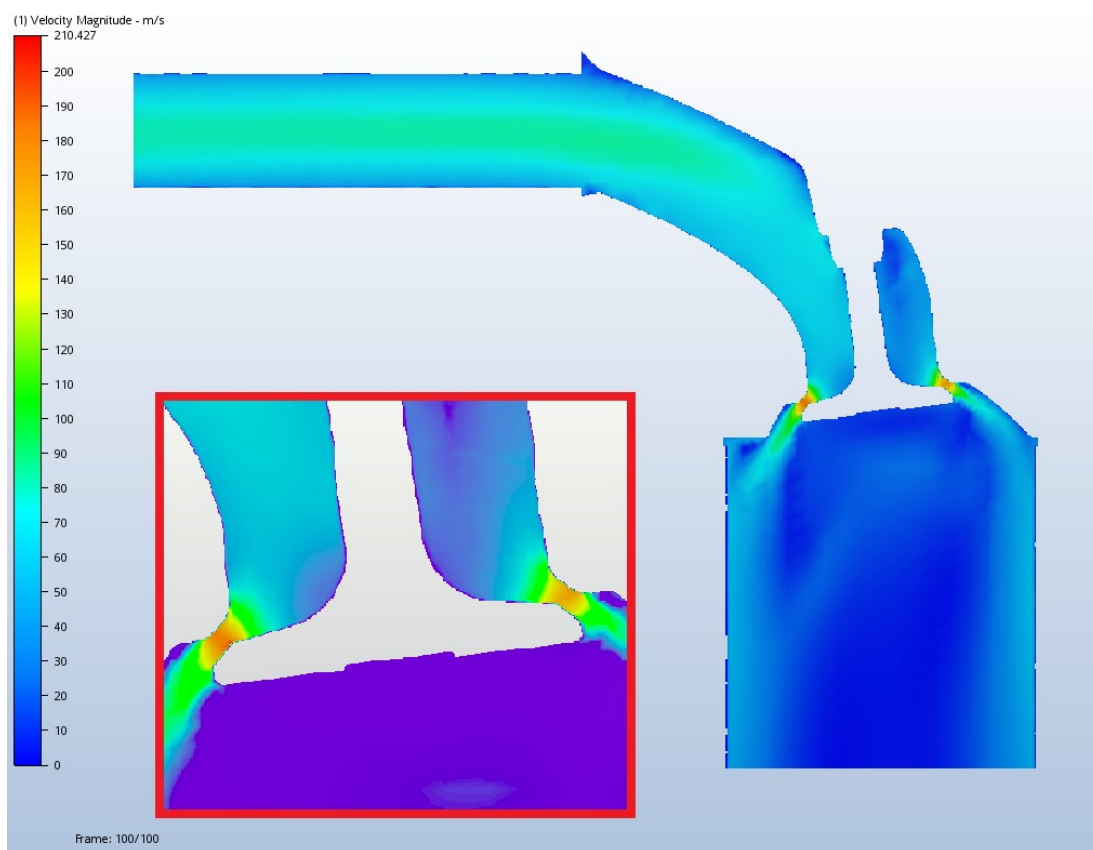


Obrázek 38: Ukázka výsledků simulace

Pro smysluplné simulování je nutné určit základní podmínky při kterých proces probíhá. A to nejen pro objektivní výsledek, ale i možnost srovnání s jinými projekty, jak už z jedné dílny, tak i mezi motoráři navzájem. Proto je i v této práci dodržen základní princip měření průtoku vzduchu hlavou válců. Simulace tedy byly realizovány při rozdílu tlaku na vstupu a výstupu ze zkoumaného objemu. Neměnný tlakový spád mezi vstupem a výstupem je příčinou kontinuálního proudění vzduchu kanálem. Tento tlakový spád by zvolen na v praxi

standardně používaných 7000Pa. Sacímu kanálu v hlavě válců byla předřazena vstupní trubka průměru kanálu a délce nahrazující část sacího potrubí pro usměrnění toku vzduchu rovnoměrně průměrem kanálu. Vstupní otvor předřazené trubky je vstupním otvorem i pro simulaci, kterému je přiřazena hodnota atmosférického tlaku. Obdobně je tomu i u kanálu výfukového. Tímto se projekt mírně odlišuje od standardního měření průtoku, ale je to pro nás výhodné z hlediska chování média uvnitř kanálu. Při testování sacího kanálu je hodnota o 7000 Pa nižší, než atmosférický tlak přiřazena spodnímu okraji vložky válce, resp. myšlené poloze dna pístu v dolní úvrati. Obdobně je tomu i při testování kanálu výfukového, pouze u spodní hrany vložky válce je o 7000 Pa vyšší nežli tlak atmosférický. Průchod média kanály byl škrcen ventily, které byli otevírány v několika pozicích.

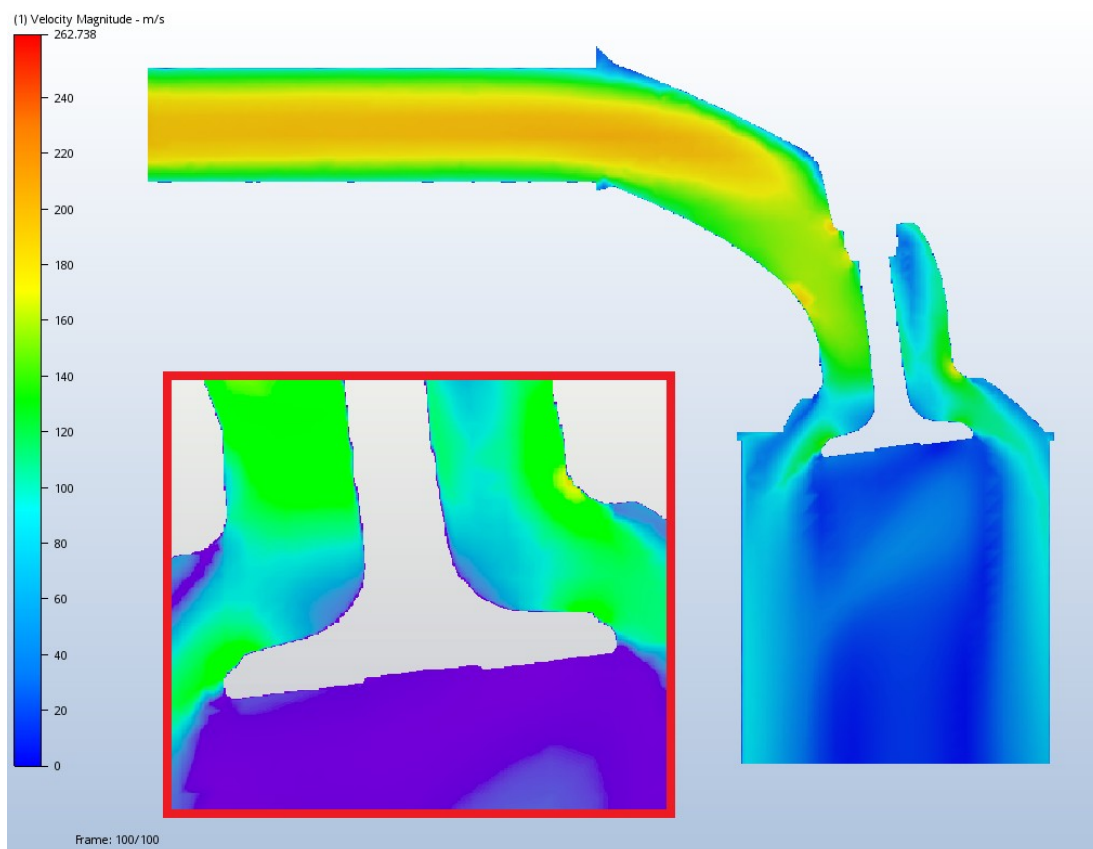
Rychlost proudění vzduchu a jeho chování při průchodu sacím kanálem je zřejmé z *obr. 39, 40*. Pro znázornění chování vzduchu při průchodu kanálem a obzvláště v oblasti talířku ventilu a ventilového sedla jsou popsány výsledky simulace při zdvihu 3 mm a 12 mm sacího ventilu. Při zdvihu sacího ventilu 3mm dosahuje rychlost v sacím kanálu hodnot do 100 m/s. V okolí misky ventilu a ventilového sedla nabývá rychlost proudění vyšších hodnot a v sedle především. Tento jev je zapříčiněn zúžením průchozího průřezu. Velikost tohoto průřezu a tvar sedla ventilu i ventilu samotného mají značný vliv na toto proudění.



Obrázek 39: Rychlost proudění při zdvihu sacího ventilu 3mm

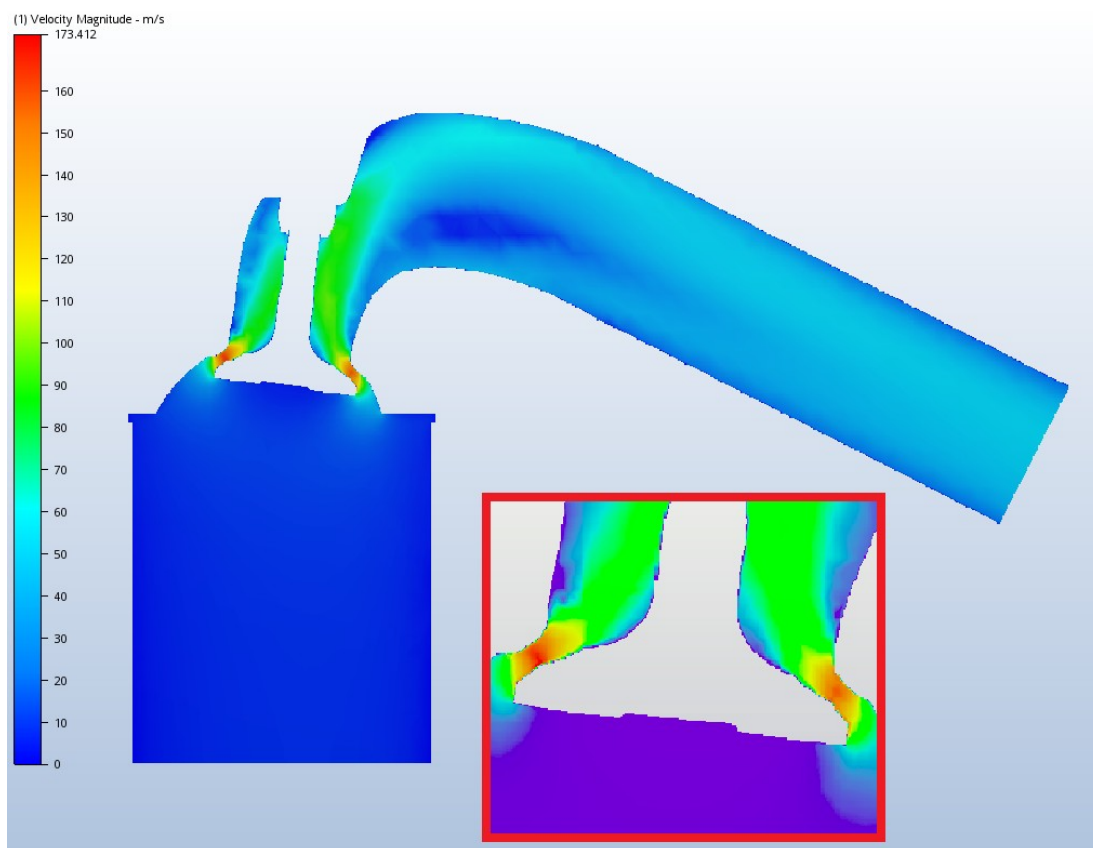
Na *obr. 30* je dále umístěno zvětšení oblasti ventilového sedla a dříku ventilu. Na tomto zvětšení pozorujeme tok vzduchu sedlem. Je zřejmé že geometrie těchto partií má veliký význam co se týče toku vzduchu.

Při zdvihu sacího ventilu 12 mm se rychlost proudění vzduchu kanálem zvýší, čímž je účinněji využito jeho objemu. Jelikož je ventil více otevřený, oblast prostupu vzduchu sedlem je průchodnější. Stále jsou zde ale omezení v průtoku vzduchu s mírně odlišnými požadavky pro jejich minimalizaci. Oblast s vysokou prioritou ale zůstává stejná a to oblast sedla ventilu.

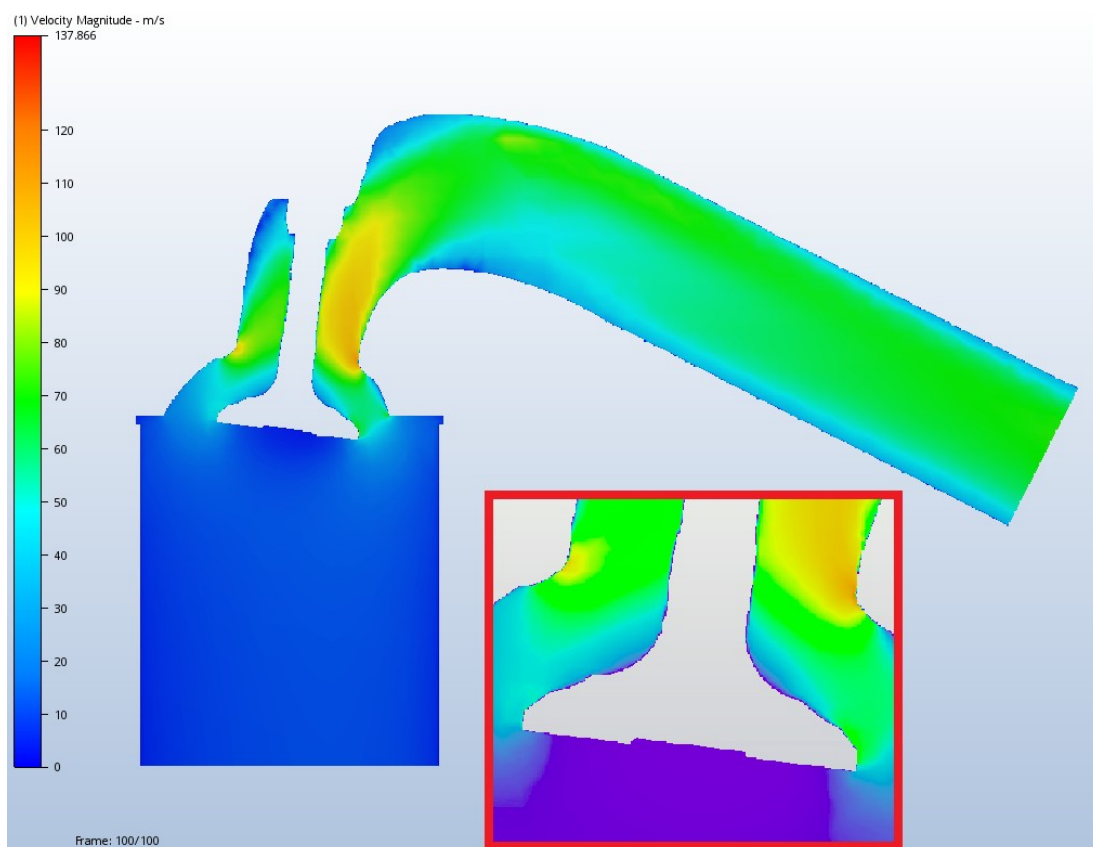


Obrázek 40: Rychlost proudění při zdvihu sacího ventilu 12mm JINÝ

V případě výfukového kanálu (*obr 32, 33*) je situace tvaru kanálu, sedla ventilu a ventilu samotného méně tíživá s ohledem na energii výfukových plynů pro opuštění válce. Nicméně je nutné, aby i zde bylo dosaženo dobrého tvaru. Celý kanál i výfukový ventil jsou rozdílných tvaru ve srovnání s částí sací. Tvar je ovlivněn nejen směrem proudění média, v tomto případě spalín, ale i jeho teplotou. Sedlo a talířek ventilu jsou tím ovlivněny už jen kvůli chlazení ventilu. Většina tepla je ventilu odebírána skrze ventilové sedlo, proto dosedací plocha je řádově o desítky procent větší, nežli dosedací plocha ventilu sacího. Oproti sací části dosahuje proud vzduchu nejvyšších hodnot nejen v oblasti sedla ale i dále v oblasti ventilu. Při větším zdvihu výfukového ventilu se situace v oblasti sedla zlepšuje. Namísto omezení pouze v této oblasti, ve srovnání s kanálem sacím, je rozdíl rychlosti proudění i dále v objemu kanálu.



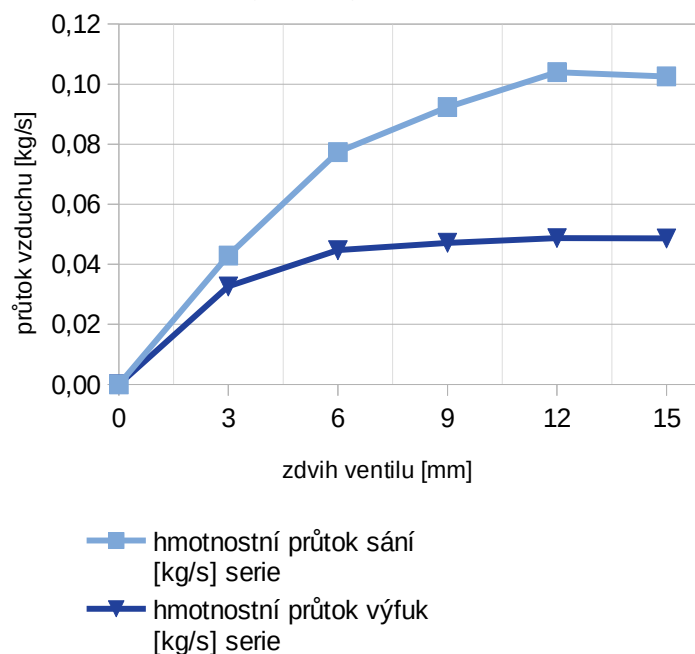
Obrázek 41: Rychlost proudění při zdvihu výfukového ventilu 3mm



Obrázek 42: Rychlost proudění při zdvihu výfukového ventilu 12mm

Velikost hmotnostního průtoku vzduchu je znázorněna na *obr. 34*. Jsou zde v grafu vyneseny hodnoty hmotnostního průtoku vzduchu v kilogramech za vteřinu v závislosti na zdvihu ventilu v milimetrech. Z obrázku je patrná změna dopravní účinnosti při změně zdvihu ventilu při průtoku vzduchu kanály. Tento graf je důležitý pro budoucí porovnání s upravenou hlavou válců.

Průtok sacím a výfukovým kanálem - zdvih ventilu



Obrázek 43: Závislost průtoku vzduchu na zdvihu ventilu

Nyní jsou známi základní parametry hlavy válců. Berme je tedy jako výchozí hodnoty pro úpravu nynějšího stavu. V dalších podkapitolách budou postupně upraveny prvky hlavy válců jako jsou ventily, sedla ventilů, kanály, spalovací prostor a konečně dosedací plocha hlavy na blok válců.

Při popisu úprav budou zmíněny důvody daného zásahu, obráběcí nástroje i stroje na nichž byla úprava realizována, parametry obrábění a samozřejmě je ukázka výsledku na přiložených fotografiích.

3.2 Úprava ventilů

Sací a výfukové ventily jsou nahrazeny novými ventily většího průměru talířku. Nově použité sací ventily mají zvětšený průměr talířku z 34 mm na 36,5 mm. Výfukové ventily z 27 mm na 31 mm. Jiná je i geometrie ventilů oproti sériovým. Na *obr. 44* jsou tyto nové ventily. Porovnat lze s ventily sériovými na *obr. 2*. Protože ventily jsou dodány již hotové, nebude jejich tvaru a úpravě věnována pozornost.

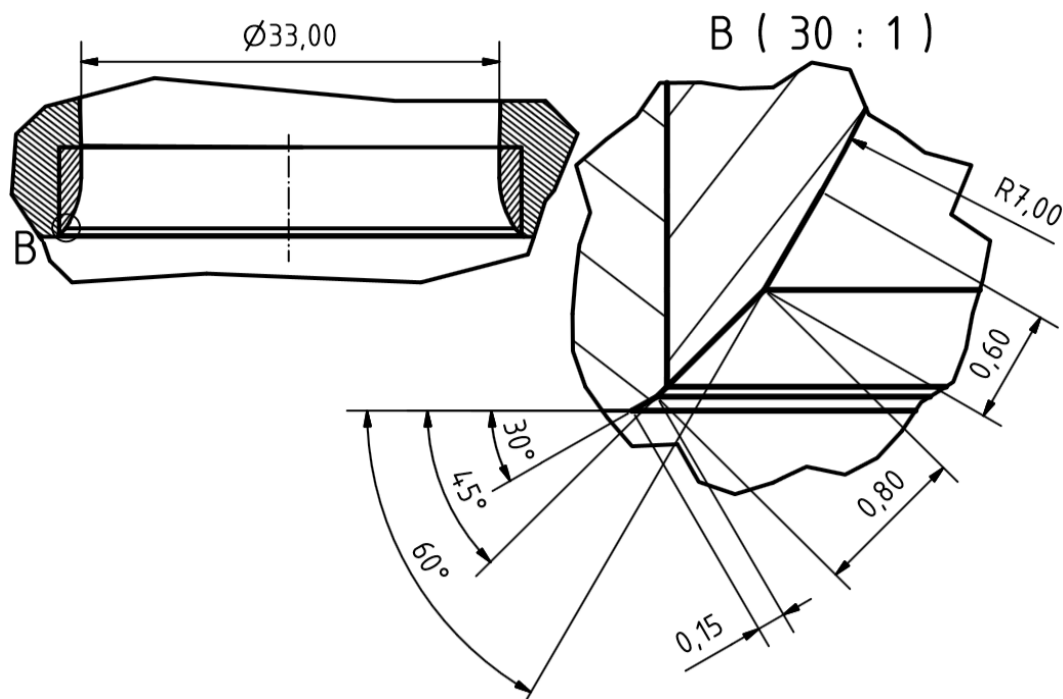


Obrázek 44: použité ventily

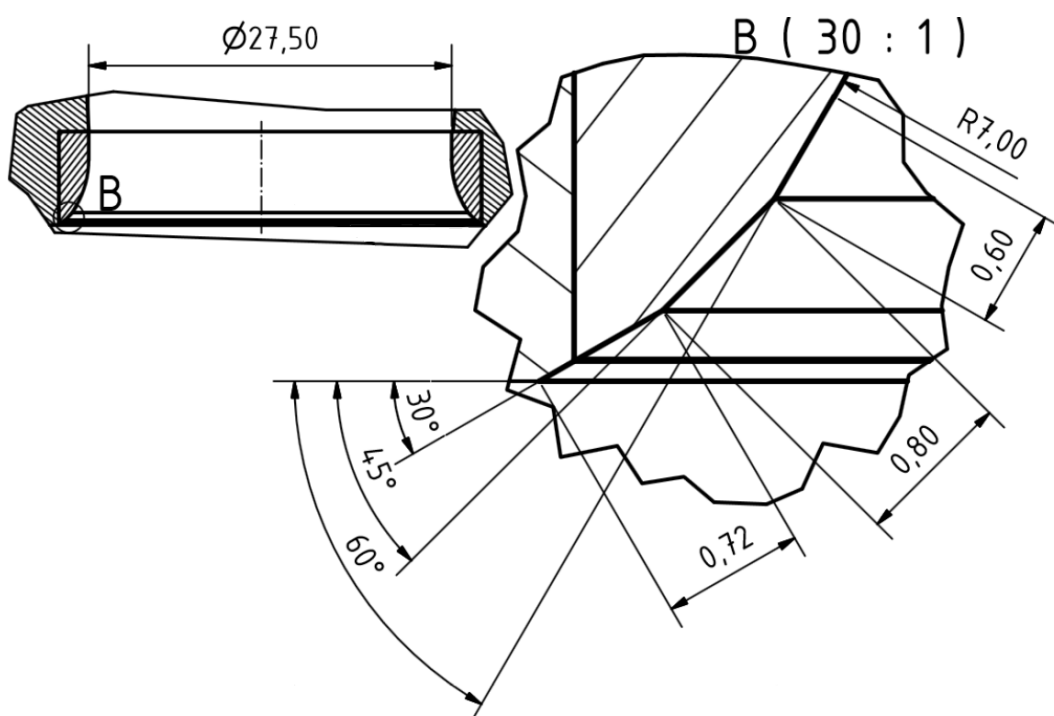
3.3 Úprava sedel ventilů

Sedla ventilů lze upravit pro efektivnější průtok vzduchu kanály. Spolu s větším průměrem ventilů je nutné nejdříve zvětšit vnitřní průměr. Konkrétně se jedná o zvětšení z hodnoty 29,5 mm na 33,5 mm pro sedlo sacího ventilu a z hodnoty 26,0 mm na 29,0 mm pro sedlo ventilu výfukového. Zvolená kombinace umožňuje použití ventilových sedel o stejném venkovním průměru jako sedla původní. Po úpravě vnitřního průměru je vytvořena geometrie sedla. Geometrie sedel ventilů je značně upravená oproti tvaru sériových sedel. Rozdílem od sériového provedení je navýšený výsledný počet ploch, které po obrobení vzniknou. Podle zkušeností byla navržena geometrie sedel (*obr. 45, 46*), které odpovídá i výběr nástroje.

Pokud se nejedná o naprosto experimentální geometrii lze pro obrábění vybrat vícebřitý nástroj se stejnými případně mírně odlišnými hodnotami úhlů a šířkami výsledných ploch sedla ventilu. Pro úpravu sedel sacích i výfukových sedel byl tedy vybrán vícebřitý nástroj SERDI SC605 / HP 2029 B1 (*obr. 49*).



Obrázek 45: Navržená geometrie sedla sacího ventilu



Obrázek 46: Navržená geometrie sedla výfukového ventilu

I v případě specifických požadavků lze vybrat více nástrojů, které dovolí požadovaného tvaru dosáhnout. Pokud ale víme, že navržená geometrie bude fungovat dle očekávání, umožňuje výrobce výrobu nástroje dle požadavků zákazníka. Vícebřitý nástroj, kterým obrobíme sedla při jedné operaci se určitě vyplatí, neboť rozměry sedel jsou velice přesné. Při velmi precizní práci při této úpravě se každou další operací navyšuje strojní čas. Nárůst času tedy není dán pouze výměnou nástrojů, ale též zajištěním přesnosti rozměrů po obrobení.

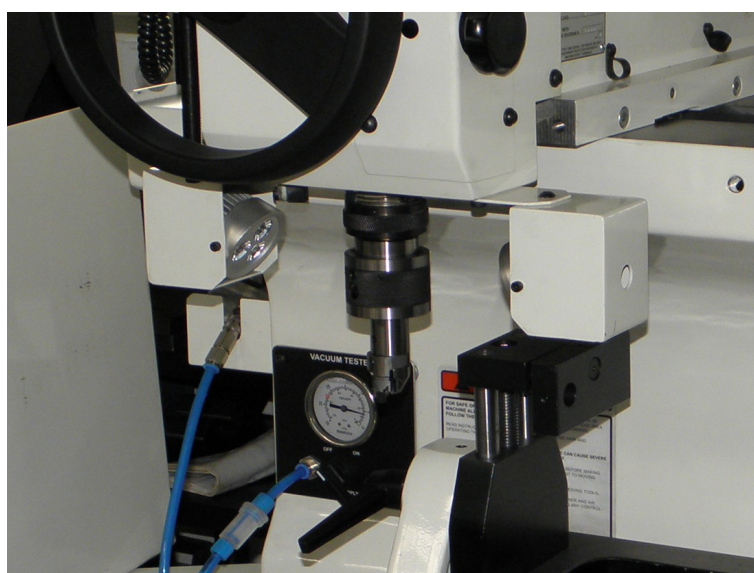
Obráběcí stroj a nástroj

Obrábění sedel ventilů se realizuje na stroji Rottler SG7MTS Manualmatic. Jedná se o deskovou vyvrtávačku s pevným stolem a vřeteníkem umožňujícím pracovní pohyb ve dvou osách. Tento stroj je přímo určen na frézování ventilových sedel.



Obrázek 47: Frézka Rottler

Vřetenu samotnému je umožněn pohyb po kulové ploše, resp. ve dvou osách kolem pevného bodu. Nástrojem je jednobřitá fréza s vyměnitelnou břitovou destičkou, v našem případě dříve vybraný nástroj Serdi (obr. 49). Protože fréza samotná by nemohla pracovat dostatečně přesně je nutné ji do sedla ventilu středit. Středící trn je zaveden do vodítka ventilu v jehož ose poté fréza pracuje. Díky volnosti kulové vazby vřetene je zaručena i sousost vodítka ventilu a nástroje.



Obrázek 48: Vřeteno s nástrojem

Systém Manualmatic se stará o výkonnost obrábění, kdy po předchozí inicializaci uživatelem si počítač řídí kdy zapnout a vypnout pohon vřetene. Systém také ví kdy a jak upravit jeho otáčky v závislosti na aktuální vyvrtávané vzdálenosti a požadované kvalitě výsledného povrchu.



Obrázek 49: Geometrie vícebřitého nástroje Serdi SC605²⁵

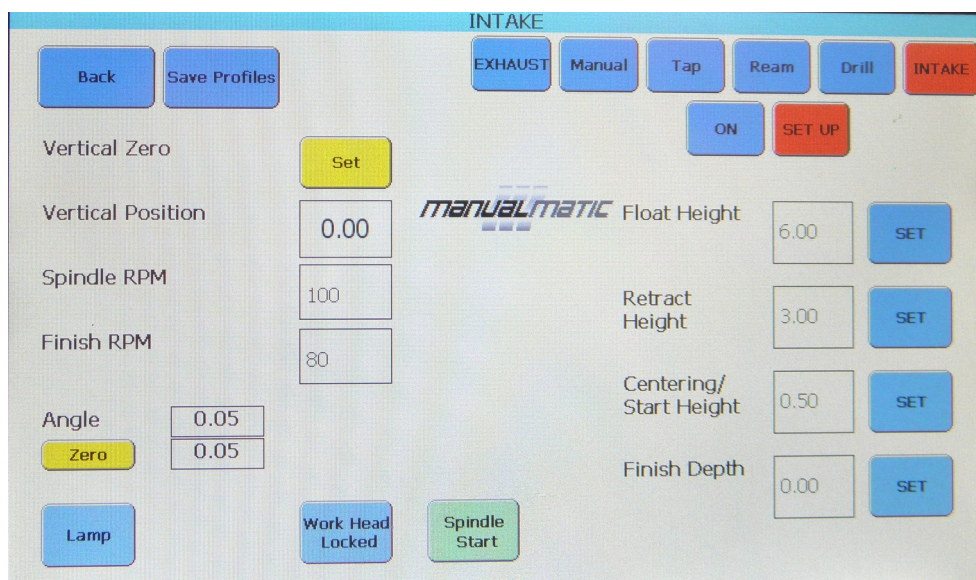
Nástrojem pro frézování ventilových sedel je fréza sestávající z držáku vyměnitelných břitových destiček a destičky samotné. Vyměnitelné břitové destičky jsou vícebřité řezné nástroje s přesně definovanou geometrií. Tyto nástroje umožňují přesné frézování ventilových sedel v jednom kroku. Na *obr. 50* je použitý nástroj na držáku ROTTLER TH1999.



Obrázek 50: vlastní obrábění

Obrábění za použití vícebřitého nástroje zabere vskutku krátký čas. Pokud je obráběná součást správně upnutá a parametry obrábění nastavené, trvá samotné obrobení jednoho sedla pouze několik málo sekund.

Nastavení obráběcího stroje

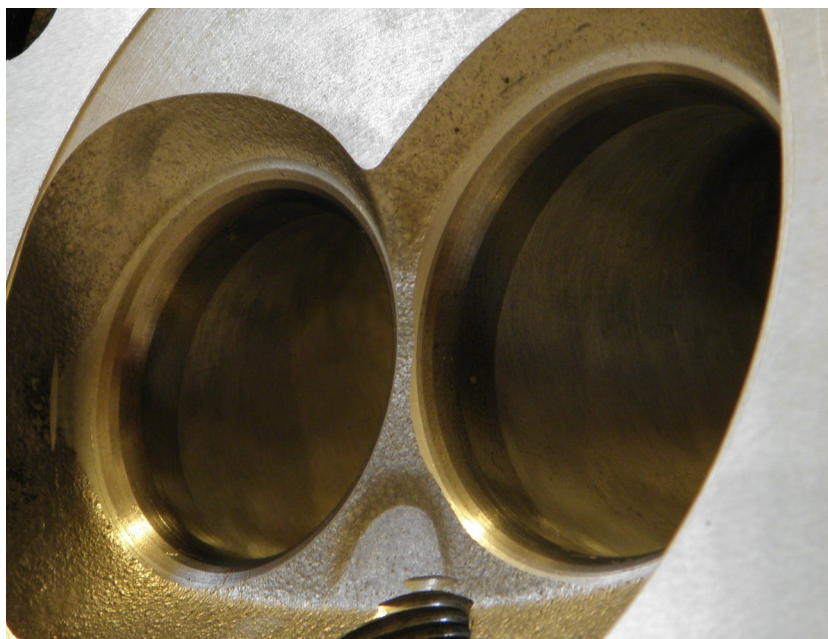


Obrázek 51: Nastavení stroje

Pro nastavení stroje jsou zvoleny otáčky vřetene 100min^{-1} . Pomocné funkce není nutné využívat. Stačí nastavit pouze nulovou pozici pro využití dokončovacích otáček 80min^{-1} .

Výsledek

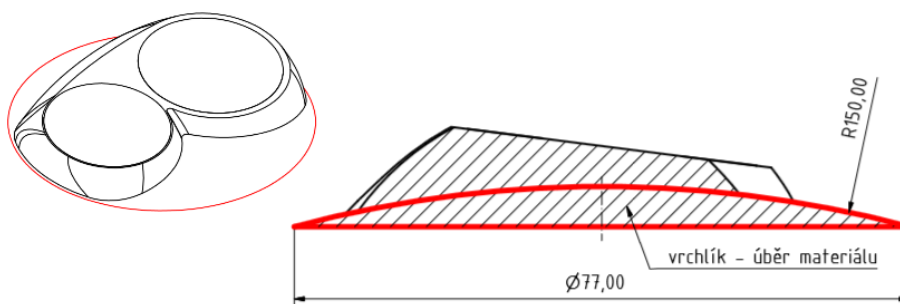
Společně s ventilovými sedly je obrobena i nejbližší okolí sedla pro sjednocení tvaru. Tato podmíněná úprava okolí ventilových sedel je nezbytná pro dokonalé proudění vzduchu tryskou tvořenou ventilem a sedlem ventilu. Nutnost této úpravy vychází ze zvětšení vnitřního průměru sedla a tedy posunutí dosedací plochy talířku ventilu téměř na venkovní okraj sedla.



Obrázek 52: Upravená sedla ventilů

3.4 Úprava spalovacího prostoru

Úprava spalovacího prostoru v hlavě válců je závislá na výběru pístu, resp. na tvaru jeho dna. V našem případě byli vybrány písty se dnem ve tvaru vrchlíku o průměru vlastní koule 150 mm. Stejných rozměrů musí být i nově obrobený tvar v oblasti spalovacího prostoru. Úprava je nutná pro použití pístu se dnem ve tvaru vrchlíku koule. Takto tvarovaný prostor má dobré vlastnosti pro pohyb a hoření směsi.



Obrázek 53: Vrchlík - úběr materiálu

Na *obr. 53* je vyobrazena požadovaná úprava spalovacího prostoru v řezu. Červeně ohraničená oblast představuje objem budoucího vrchlíku, tj. i materiál který je nutné odebrat.

Obráběcí stroj a nástroj

Obrábění probíhá na svislé konzolové frézce nástrojem s břitem ve tvaru dna pístu. Na *obr. 54* je zobrazena frézka TOS FNK25A zvolená pro tuto operaci. Nástrojem pro tuto úpravu je dvoubřitý nástroj (*obr. 55*) z nástrojové oceli, přímo vyrobený pro tento účel. Šířka nástroje je 77,0 mm a rádius zaoblení břitů 150,0 mm.



Obrázek 54: TOS FNK-25A



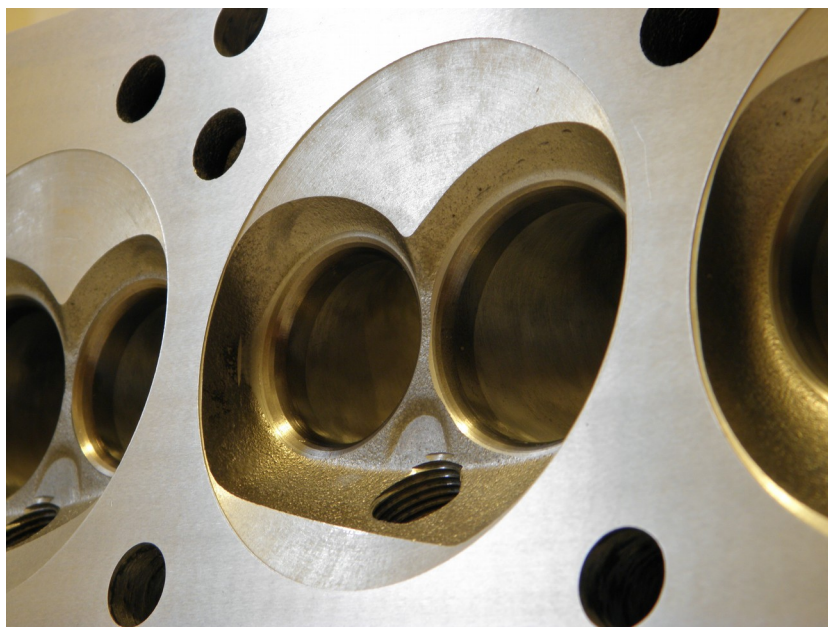
Obrázek 55: Nástroj pro úběr vrchlíku

Nastavení obráběcího stroje

V tomto případě jsou navrženými parametry obrábění pouze otáčky vřetene s nástrojem a vertikální posuv neboli hloubka vývrtu. Otáčky vřetene jsou určeny 700min^{-1} . Hloubka vývrtu musí odpovídat výšce vrchlíku, což pro poloměr koule 150,0 mm ze které je sejmuto vrchlík o průměru podstavy 77,0 milimetrů činí 5,03 milimetrů.

Výsledek

Nově tvarovaný spalovací prostor umožňuje použití pístů se dnem ve tvaru vrchlíku koule. Úprava je tedy nezbytná. Tento tvar spalovacího prostoru disponuje výhodnými podmínkami pro pohyb a hoření směsi paliva a vzduchu.



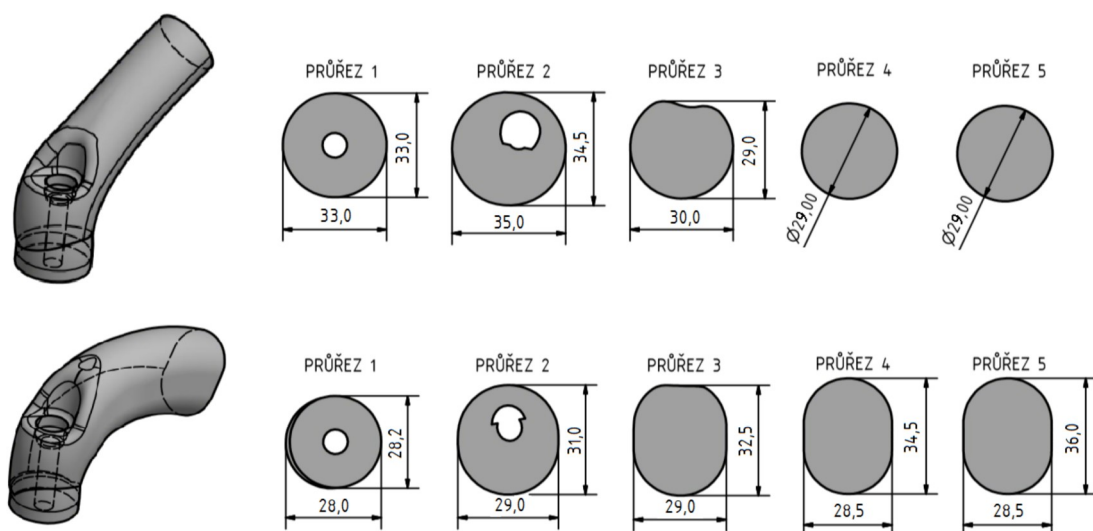
Obrázek 56: Vybrání pro píst

3.5 Úprava kanálů

Při návrhu tvaru kanálu se vycházelo z poznatků teoretických, praktických a z velké části z výsledků počítačové simulace proudění tekutin. Díky tomu bylo možné určit rozsah a především parametry úpravy sacího a výfukového kanálu. Protože tvar i dílčí objemy kanálů jsou dobře navrženy a již z výroby dosahují kanály dobrých výkonů, není nutná zásadní změna jejich tvaru. Změna tvaru a dílčích objemů kanálů byla provedena v souladu s ventily, ventilovými sedly a určením použití motoru.

Nejpodstatnějšími změnami ve tvaru kanálu jsou úpravy objemu, což má zásadní vliv na plnění válce. V závislosti na této změně by měli být odstraněny nálitky vodítek ventilů které představují překážku kanálem proudícímu médiu a ovlivňují dílčí objem kanálu. Namísto původních vodítek ventilů bývají použita vodítka nová, jejichž tvar je též podmíněn celistvostí kanálu.

Sací kanál by měl být nejprve zbaven starého vodítka ventilu a nálitku samotného. Směrem od ventilu do kanálu se nejprve upravuje okolí ventilových sedel, aby byli vyhlazeny všechny přechody. Od sedla dále do kanálu je nutné brát ohled na objem dřívku ventilu, který svým objemem ubírá objem vlastnímu kanálu. S vědomím tohoto faktu je možné zvětšit vnitřní objem kanálu v této oblasti. Rozšíření kanálu je třeba dělat s přechodem do části do které nezasahuje dřívek ventilu. Tato pravidla platí pro sací i výfukový kanál. Návrh průřezů pro nový tvar sacích a výfukových kanálů je vyobrazen na *obr. 57*. Průřezy jsou provedeny v rovinách kolmých na tečny střední prostorové křivky kanálu v konkrétním bodě. První bod je na křivce umístěn za sedlem ventilu, další jsou vzdáleny 20 mm od předcházejícího.



Obrázek 57: Návrh nového tvaru sacího (nahore) a výfukového (dole) kanálu

Obráběcí stroj a nástroj

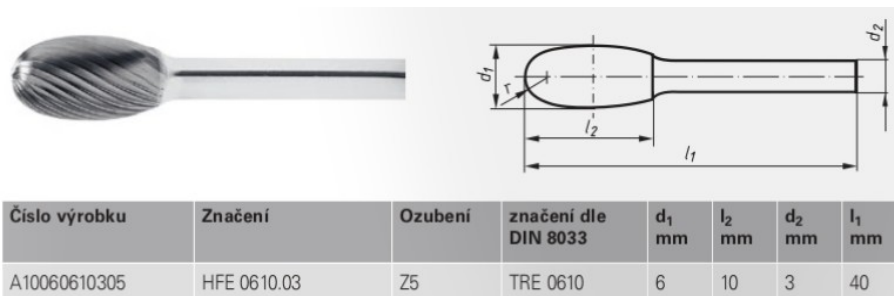
Pro frézování a broušení kanálů v hlavě motoru je zvoleno ruční elektrické nářadí Extol. Použitými nástroji pro frézování je stopková fréza a pro broušení stopkový brusný vějíř. Součástí elektrického nářadí Extol je flexibilní adaptér pro sklíčidlo s ergonomickou rukojetí. Pro obrábění kanálů v hlavě válců je tento adaptér nezbytností s ohledem na jejich tvar.



Obrázek 58: Ruční elektrické nářadí Extol

Fréza stopková

Pro frézování je nutné použít malé stopkové kapkovité frézy pro upnutí do sklíčidla přímé brusky. Typ frézy byl vybrán na základě požadavku vzhledem k obráběnému materiálu a tvarové složitosti dílu. Fréza má být použita výhradně pro hrubovací práce. Na *obr. 59* je vyobrazena fréza včetně základních rozměrů. Fréza je vyrobena z tvrdokovu povlakovaného titankarbonitridem o tloušťce povlaku 10-20 μ m. Povlak je odolný vyššímu teplotnímu zatížení při náročnějších aplikacích.¹⁵

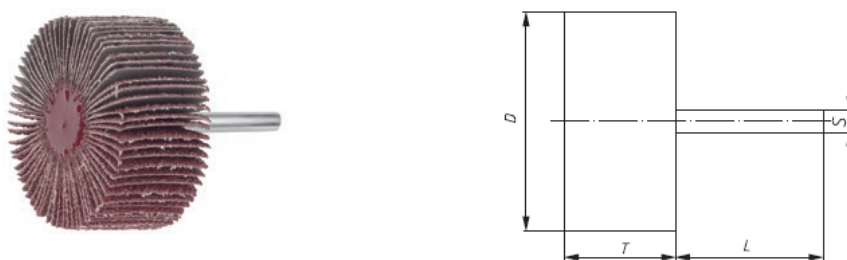


Obrázek 59: Vyobrazení typu frézy s rozměry²⁶

Ozubení frézy Z5 je určeno pro jemnější práce na materiálech převážně jiných, nežli slitin hliníku. Vzhledem ke složitosti tvaru kanálů byl ale vybrán právě tento typ frézy. Při použití teoreticky vhodnějších fréz by nebylo možné dosáhnout požadovaného tvaru kanálu.

Brusný vějíř

Pro broušení povrchu kanálů v hlavě motoru byly vybrány brusné vějíře na stopce. Jedná se o brusné vějíře SFL firmy LUKAS. Jsou vyrobeny z brusného plátna na kterém je jako brusného elementu použito korundu* charakterizovaného jako velmi houževnaté brusivo vysoké pevnosti.¹⁶



Číslo výrobku	Značení	Zrnitost	D mm	T mm	S mm	L mm	n dopor. (1/min)	n max. (1/min)
A2200020103080	SFL 02010.03	NK 80	20	10	3	40	20.000	28.000
A2200020103120	SFL 02010.03	NK 120	20	10	3	40	20.000	28.000
A2200025103080	SFL 02510.03	NK 80	25	10	3	40	16.000	18.000
A2200025103120	SFL 02510.03	NK 120	25	10	3	40	16.000	18.000

Obrázek 60: Brusný vějíř²⁷

Pozn.: (karbonitrid je ve výstřižku z katalogu LUKAS značen NK - normalkorund)

Nastavení obráběcího stroje

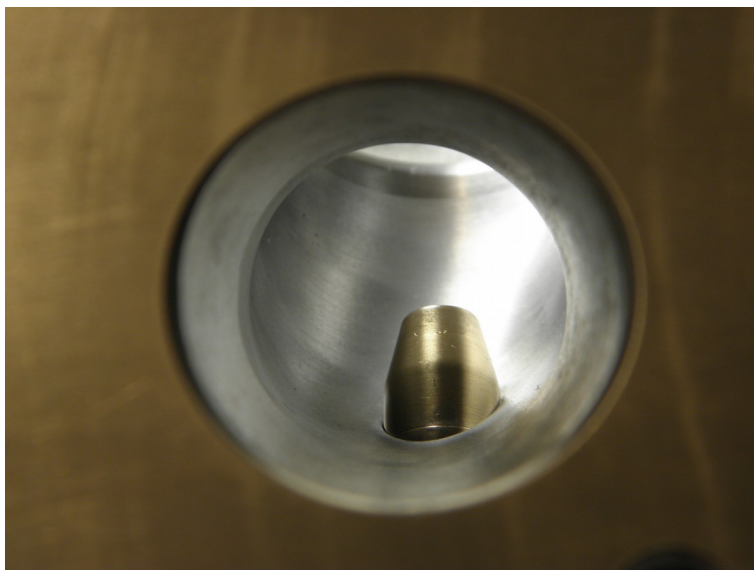
Pro frézování jsou navrženy otáčky 20000 - 25000min⁻¹. Aktuální nastavení otáček může být upraveno v průběhu frézování. Příliš nízké otáčky však mohou být velmi neefektivní pro účinnost nástroje a úběr materiálu. Není tedy vhodné frézovat při otáčkách nástroje menších než 5000 min⁻¹. Protože určení frézy je původně jiné, doporučuje se používat lihu jako procesní kapaliny.

Brusnými vějíři o průměru 20mm by mělo být broušeno v rozmezí otáček 5000 - 20000min⁻¹. Doporučené otáčky 2000 - 17000 min⁻¹ platí pro brusné vějíře o průměru 25 mm. Tyto otáčky jsou závislé od aktuálního broušeného povrchu a tvaru. Při opotřebení se též mění obvodová rychlost a je kompenzovat opotřebení navýšením otáček nástroje. Maximální otáčky nástroje, které nesmí být překročeny jsou 28000 min⁻¹ pro vějíře o průměru 20 mm a 18000 min⁻¹ pro vějíře o průměru 25 mm.

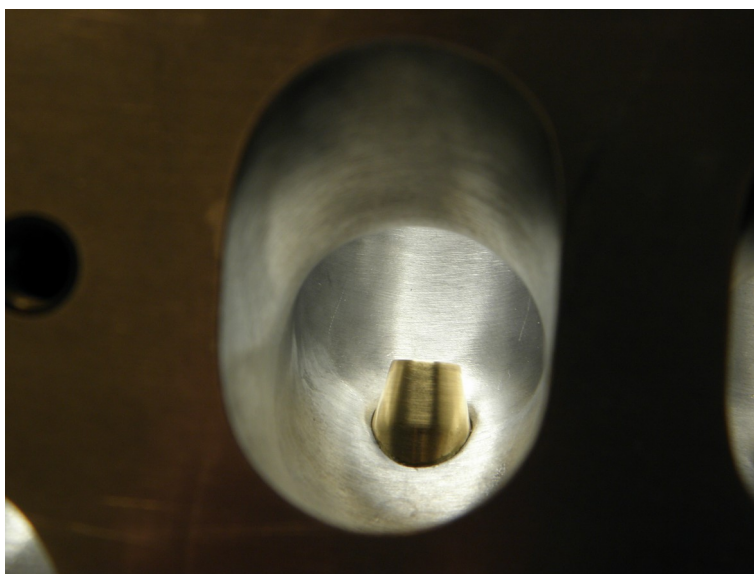
Výsledek

Po obrobení jsme získali sací a výfukový kanál většího průřezu po celé délce a tím pádem kanál s daleko větším objemem. Díky tomu kanály projde daleko vyšší množství vzduchu. To je podstatné pro účinnost a výkon motoru. Samozřejmostí je, že všechny sací a všechny výfukové kanály mají stejný tvar, v opačném případě by byl chod motoru nevyvážený, což se odrazí nejen na výkonu, ale i na namáhání součástí.

Obrobený sací a výfukový kanál je vyobrazen na *obr. 61, 62*. Je zřejmá jednotná kvalita povrchu a pozvolné přechody a zakřivení. Tvar upravených kanálů v porovnání s tvarem původním bude uveden v hodnocení výsledků práce v *kapitole 4*.



Obrázek 61: Upravený sací kanál



Obrázek 62: Upravený výfukový kanál

3.6 Úprava dosedacích ploch hlavy válců

Úprava dosedací plochy hlavy válců je spojena s tzv. snížením výšky hlavy válců pro změnu kompresního poměru. Jak již bylo popsáno v kapitole 1.1, změnou kompresního poměru zvýšíme tepelnou účinnost motoru. Dle zkušeností byl zvolen statický kompresní poměr 12,8:1. Z této hodnoty a zdvihového objemu jednoho válce 322,34 cm³ byl pomocí vzorce (3) z kapitoly 1.1 určen objem spalovacího prostoru 27,79 cm³.

$$\varepsilon_k = \frac{V_z + V_k}{V_k} \Rightarrow V_k = \frac{V_z}{\varepsilon - 1} = \frac{322,34}{12,8 - 1} = 27,79 \text{ cm}^3$$

Dosedací plochu hlavy válců je tedy nutné obrobit na rovinné frézce. Tloušťka odebrané vrstvy materiálu má činit 0,4mm. Společně s touto úpravou byla realizována úprava plochy na níž dosedají těsnění přírub sacího a výfukového potrubí.

Obráběcí stroj a nástroj

Tato operace se provádí na stolové CNC frézce COMEC RP 1000 CNC. Nástroj je tvořen kruhovým tělem frézy do kterého je upnut držák vyměnitelných břitových destiček s destičkou ze směsné keramiky.



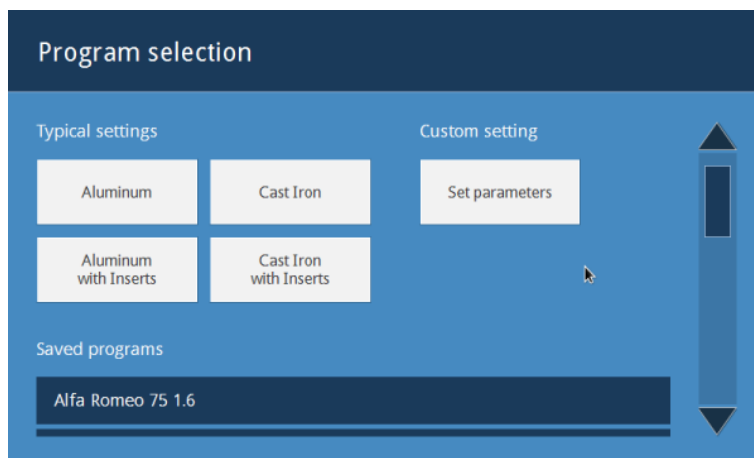
Obrázek 63: Stolová frézka COMEC

Posuv pracovního stolu a obráběcí hlavy je realizován kuličkovým šnekovým převodem a hnacími elektromotory. Pohon vřetene zajišťuje samostatný elektromotor. Inicializační nastavení stroje probíhá částečně manuálně, s pomocí digitálního odečítání vzdáleností. Chod obráběcího stroje je již plně automatizovaný. Procesní kapalina přivedená do místa řezu je odváděna a chlazena pro udržení optimálních vlastností.

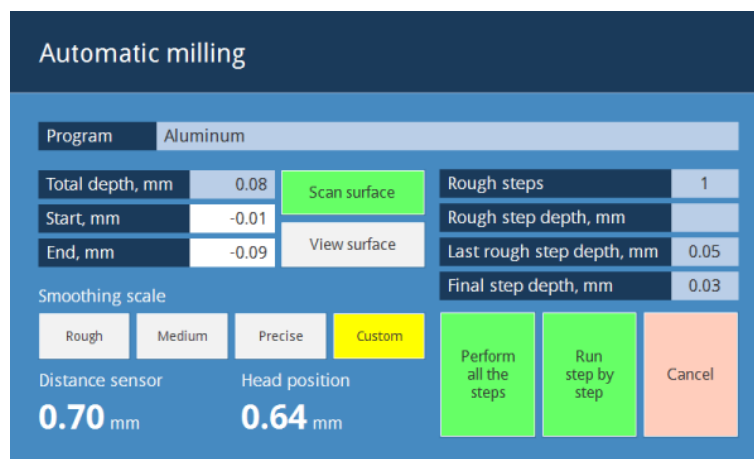


Obrázek 64: Frézovací hlava s nástrojem

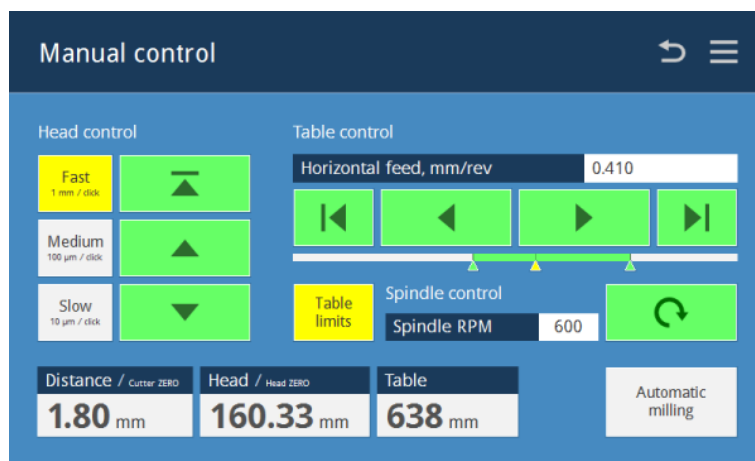
Nastavení řezných parametrů lze vybrat z uložených přednastavení a dále upravit nebo nastavit úplně nové podmínky (obr.25). Po základním výběru nastavení lze zvolit plně automatické obrábění (obr.26) nebo parametry upravovat dle potřeby ručně (obr.27).



Obrázek 65: Výběr nastavení řezných podmínek²⁸



Obrázek 66: Automatické nastavení²⁹

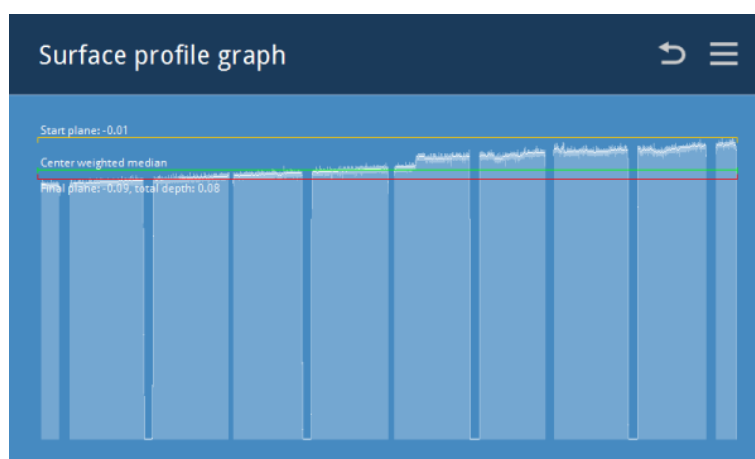


Obrázek 67: Manuální nastavení³⁰

Kvalita povrchu je velmi důležitá, neboť se obrábějí těsnící plochy velmi namáhaných dílů. Součástí frézovací hlavy je proto laserový snímač vzdálenosti (obr. 68), který měří hodnoty výšky povrchu součásti (obr. 59) a to tak, že výchozím či nulovým bodem pro měření je počáteční nastavení stroje.



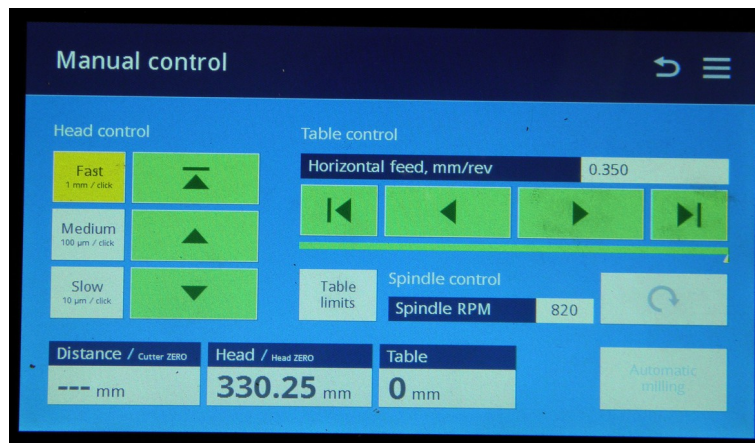
Obrázek 68: Laserový snímač vzdálenosti



Obrázek 69: Hodnoty výšky povrchu³¹

Nastavení obráběcího stroje

Všechny parametry obrábění jsou zadávány počítači a celý proces je tak plně automatizován. První rozhodující parametr je typ materiálu, který bude obráběn. Hlava válců je hliníková, proto je zvolen program pro obrábění hliníku. Dále je zvoleno manuální nastavení (obr. 60) a zadány hodnoty posuvu obráběcí hlavy v horizontální směru v milimetrech na otáčku vřetena 0,350 mm/ot, a otáčky vřetene 820 min⁻¹. Tlouška odebírané vrstvy se zadá ručně posuvem obráběcí hlavy ve vertikálním směru. Tento postup je volen s ohledem na individualitu každého obráběného dílu. Po obrobení bude změřen objem spalovacího prostoru a případně upraven pro každý válec nebo celá plocha znovu frézována.



Obrázek 70: Obrazovka manuálního nastavení

Výsledek

Obrobením je dosaženo potřebné výšky hlavy válců a jednotný povrch schopný utěsnit spalovací prostor a sací a sací a výfukové kanály. Po obrobení dosedací plochy hlavy válců je možné zvolit možnost měření povrchu pro kontrolu kvality obrobení.



Obrázek 71: Frézovaná plocha

3.7 Honování vodítek ventilů

Honování vodítek ventilů je velmi důležité pro dosažení perfektní kvality jejich povrchu. Ventily výkonného motoru jsou vysoce namáhány a nekvalitní povrch vodítek ventilů by mohl způsobit nepříjemné vzájemné opotřebení. Nové vodítko ventilů před nalisováním do hlavy válců na *obr. 72*. Honování probíhá obdobně jako honování stěn válců motoru, rozdíle jsou pouze parametry a obráběcí nástroj.



Obrázek 72: Vodítka ventilů

Obráběcí stroj a nástroj

Vodítka ventilů jsou honována za pomoci stroje Sunnen CV-616. Tento stroj slouží téměř pro veškeré honovací práce prováděné spalovacím motorem. Honovací hlava je jednobřítá upnutá do speciálního držáku s kloubem.



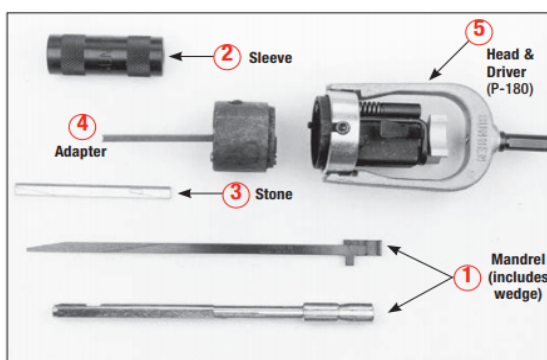
Obrázek 73: Honovací stroj

Honovací hlava s držákem jsou jeden celek jako "Sestava pro honování ventilových vodítek P-190". Mechanismus přitlačování brusného kamene na honovanou stěnu je na základě klínového mechanismu, kdy síla působí na klín rovnoběžně s osou nástroje a tím tlačí kámen na stěnu obráběné dutiny. Přítlačná síla je nastavena stavěcím šroubem a pružinou, která udržuje velikost přitlačné síly. Parametry obráběcího nástroje včetně popisu nástroje jsou uvedeny na *obr. 75*.



Obrázek 74: Honovací nástroj

Nominal Fractional Size (inches)	Range inches	Range mm	① Mandrel	② Sleeve	③ Stone	New	④ Adapter	⑤ Head & Driver
-	.195-.200	4,9 - 5,1	BL6-195CS	S-195	—	L6-J67	PSK6-A	P-180 200 rpm max



Obrázek 75: Honovací nástroj

Veškeré obráběcí pohyby koná rameno stroje. Honovací pohyb je kývavý, kdy se rameno kývá kolem osy kloubu, obdobně jako vahadlo. Tento kývavý pohyb je kompenzován kloubem na hlavici držáku nástroje. Tímto je udržována souosost nástroje a obráběného vodítka. Posuvový pohyb pro přesun na další otvor obrobku zajišťuje pojezd po kterém se celé rameno stroje posouvá.

Nastavení obráběcího stroje

Pro honování vodítek ventilů byly zvoleny parametry závislé na materiálu a velikosti vodítek. Otáčky honovacího nástroje 125 min^{-1} , počet cyklů za minutu 41 min^{-1} a rozsah kývání v délce vodítka, tj. 37,0 mm. Vnitřní průměr vodítka sacího ventilu musí být po obrobení o 0,037 mm větší než dřík ventilu, což je hodnota 6,837 mm pro vnitřní průměr vodítka ventilu. Pro vodítko výfukového ventilu musí být rozdíl mezi vnitřním průměrem vodítka ventilu a ventilem 0,047 mm, výsledný vnitřní průměr vodítka tedy bude 6,847 mm.

Výsledek

Po honování vznikl povrch odpovídajícího tvaru a drsnosti (*obr. 67*) na požadovaném vnitřním průměru vodítka ventilu. Takto obrobené vodítko je již připraveno na montáž ventilu.



Obrázek 76: honované vodítko ventilu

Po provedení všech uvedených operací je hlava válců připravená k montáži dílů ventilového rozvodu a celkově k montáži na daný motor.

4 Popis a vyhodnocení výsledků experimentů

Hlava válců je nyní upravená. Stejně jako u hlavy sériové byla provedena podrobná analýza tvaru a proudění vzduchu. Díky provedené simulaci jsme získali hodnoty hmotnostního průtoku vzduchu kanály a vizualizaci proudění vzduchu a jeho rychlostí. Naměřené hodnoty můžeme nyní porovnat s hodnotami výchozími, tedy hodnotami původního stavu hlavy válců.

První hodnotou kterou můžeme snadno vyhodnotit je tepelná účinnost motoru při použití hlavy válců na které jsme upravily spalovací prostor tak, abychom dosáhli vyššího kompresního poměru. Konkrétní hodnota statického kompresního poměru $\varepsilon_k=12,6:1$. Z této hodnoty můžeme tepelnou účinnost snadným výpočtem podle *vzorce (4) z kapitoly 1.2*:

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon_k} \right)^{(k-1)} \quad (4)$$

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{12,6} \right)^{(1,4-1)}$$

$$\eta_t = 0,637$$

k koeficient poměru měrných tepel, roven 1,4

Pokud do *vzorce (4)* dosadíme hodnotu kompresního poměru motoru v originálním nastavení $\varepsilon_k=10:1$, získáme tepelnou účinnost:

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{10} \right)^{(1,4-1)}$$

$$\eta_t = 0,602$$

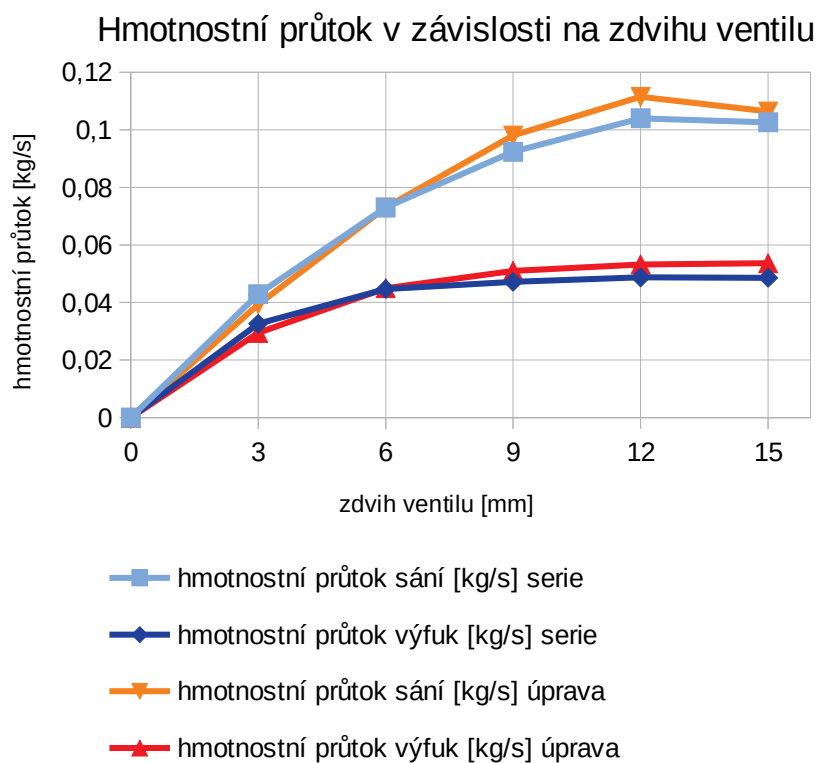
Z výsledků je zřejmé, že tato úprava je přínosem pro účinnost a výkon motoru. Skutečné hodnoty účinnosti se budou od těchto vypočtených značně lišit, protože skutečný oběh spalovacího motoru je od ideálního vcelku odlišný. Další výhodou této úpravy je ale pohyb směsi vzduchu a paliva a její hoření ve válci motoru.

Odlitý spalovací prostor a kanály hlavy válců po úpravě je možné porovnat s původními tvary na *obr. 77*. Z obrázku je patrný nárůst objemu spalovacího prostoru i sacího a výfukového kanálu. Odlišný je i tvar sacího a výfukového kanálu. Hlavní rozdíl způsobuje absence nálitků vodítek ventilů, což značně zlepšuje proudění vzduchu, resp. spalin kanálem.



Obrázek 77: Tvaru kanálů původních (vlevo) a po úpravě (vpravo)

Odlitek byl opět vymodelován do 3D počítačového modelu s kterým byla následně provedena simulace. Po skončení CFD simulace byli odečteny hodnoty průtoku vzduchu sacími i výfukovými kanály. Naměřené hodnoty jsou dány do grafu společně s hodnotami průtoků vzduchu před úpravou.



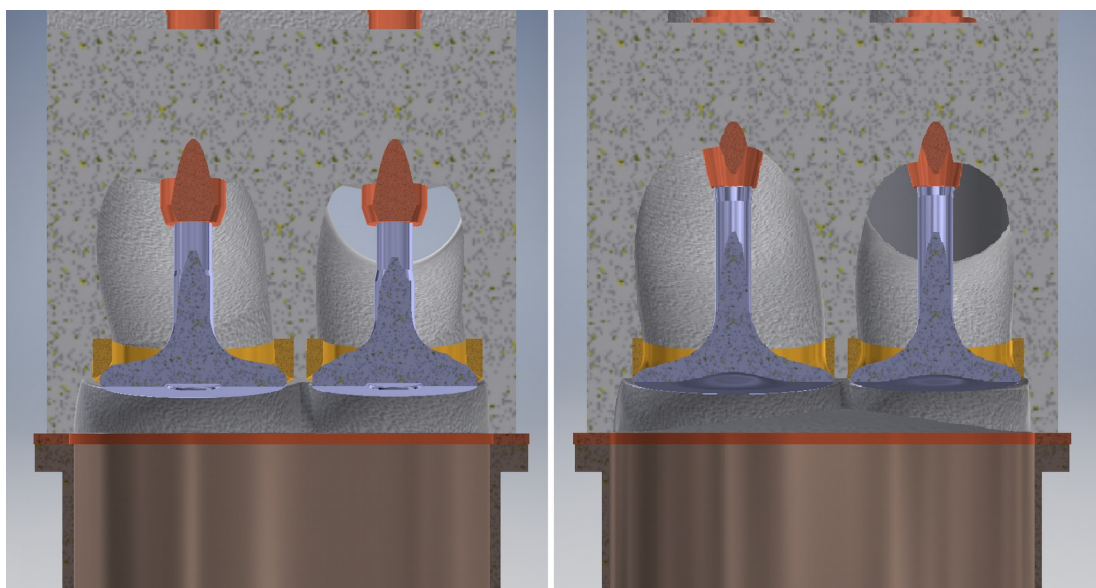
Obrázek 78: Srovnání průtoku vzduchu

Hodnoty měření průtoku vzduchu upravenými kanály vykazují v porovnání s kanály před úpravou hodnoty se zlepšením až 7,2% pro sací a 9,2% pro výfukový kanál. Tyto hodnoty jsou dosaženy při maximálním zdvihu ventilů. Při nižším zdvihu ventilů je patrný pokles hmotnosti dopraveného vzduchu. To je způsobeno zvětšením objemu kanálů a zmenšením rychlosti proudícího vzduchu. Jedná se ale pouze o ztrátu v části spektra zdvihu ventilů, ale hlavně je tato ztráta vykompenzována ziskem při vyšším zdvihu ventilu a dalším nastavením motoru.

Tyto výsledky jsou dobré, nicméně reálné zlepšení odhaduji minimálně 10% pro oba kanály. Simulace byla sice provedena s ideálními podmínkami, ale i to může být nevýhodou. Dalším faktorem je zjednodušená simulace, tedy spíše zjednodušený model. Zjednodušení modelu bylo nutné pro proveditelnost simulace a její relativně krátký čas.

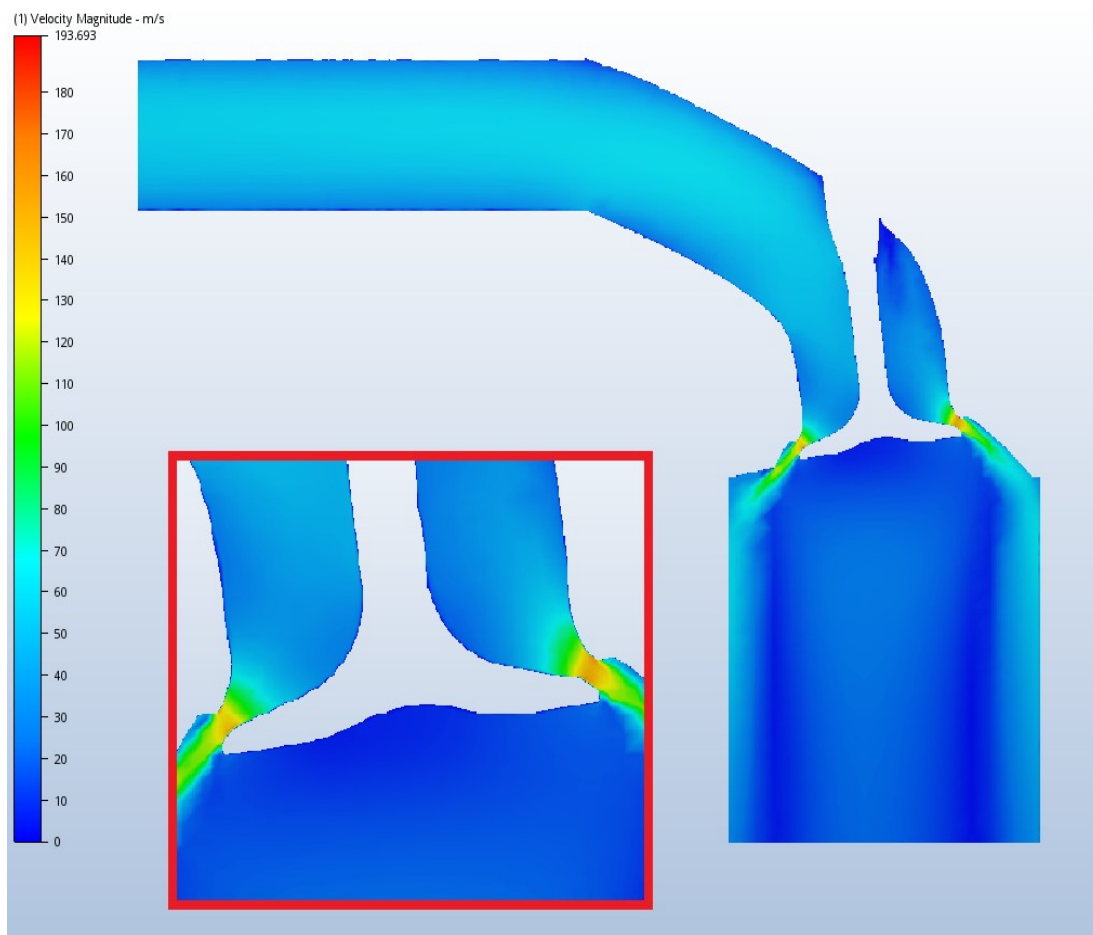
Dobrych hodnot hmotnostního průtoku vzduchu bylo dosaženo i díky nové geometrii sedel ventilů. Dobře provedená geometrie sedel ventilů a ventilů samotných je velmi přínosná. Pro malý i veliký zdvih ventilu je sice výhodná jiná geometrie ventilu, avšak při vysokém zdvihu ventilu již ventil průchodu vzduchu nebrání tolik jako při zdvihu nižším. Navržená geometrie sedel ventilů je vysokým přínosem.

Na *obr. 79* jsou v řezu počítačové modely upraveného i původního uspořádání hlavy válců. Zřejmé jsou všechny provedené změny vůči původnímu stavu.



Obrázek 79: Srovnání hlavy válců před (vlevo) a po (vpravo) úpravě

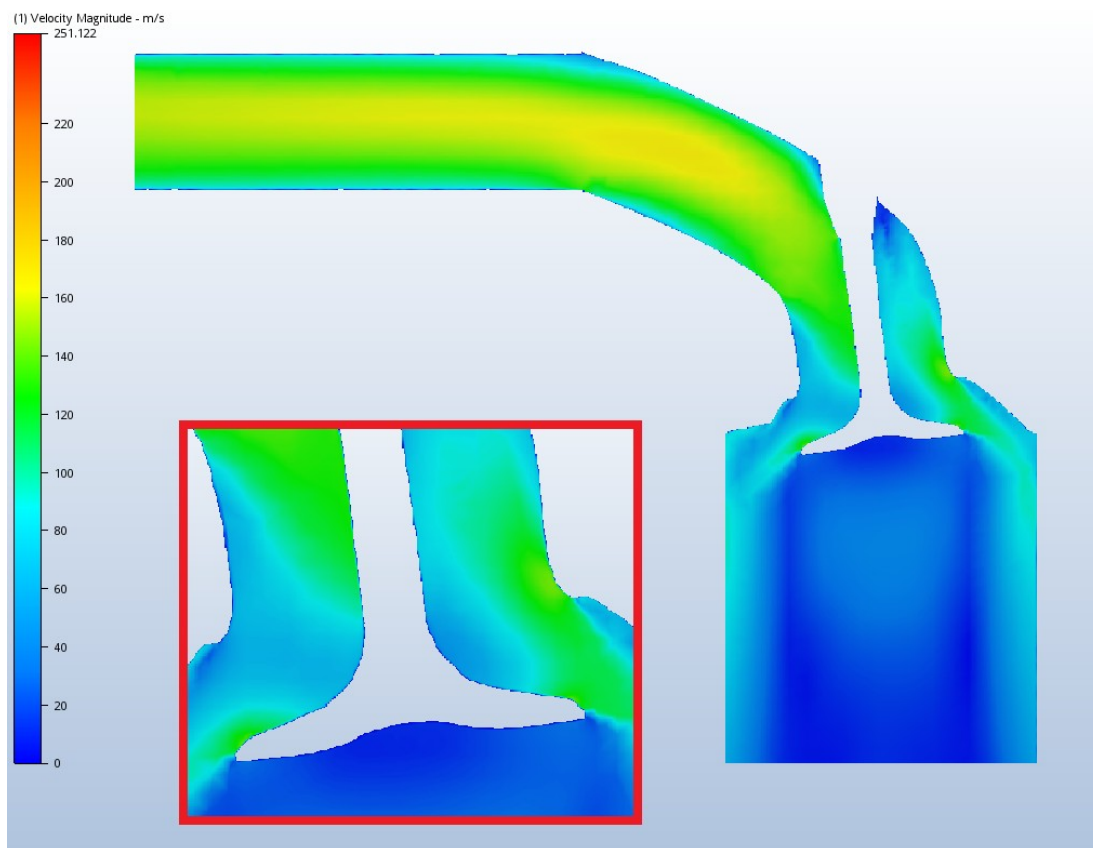
Celkové vlastnosti upravené hlavy válců lze pozorovat na obrázcích zachycujících výsledky simulace proudění vzduchu. Při zdvihu 3 mm sacího ventilu je po úpravě dosaženo menší rychlosti proudu vzduchu v celém kanálu i v sedle ventilu. Na rozdíl od původního proudí vzduch rovnoměrně celým kanálem, přestože vzduch v sedle ventilu nedosahuje takové rychlosti, sedlo s ventilem jej usměrní a i rychlost za sedlem je srovnatelná jako u sedla před úpravou. Dobře je vidět, jak pomáhá úprava spalovacího prostoru proudění vzduchu dále do válce.



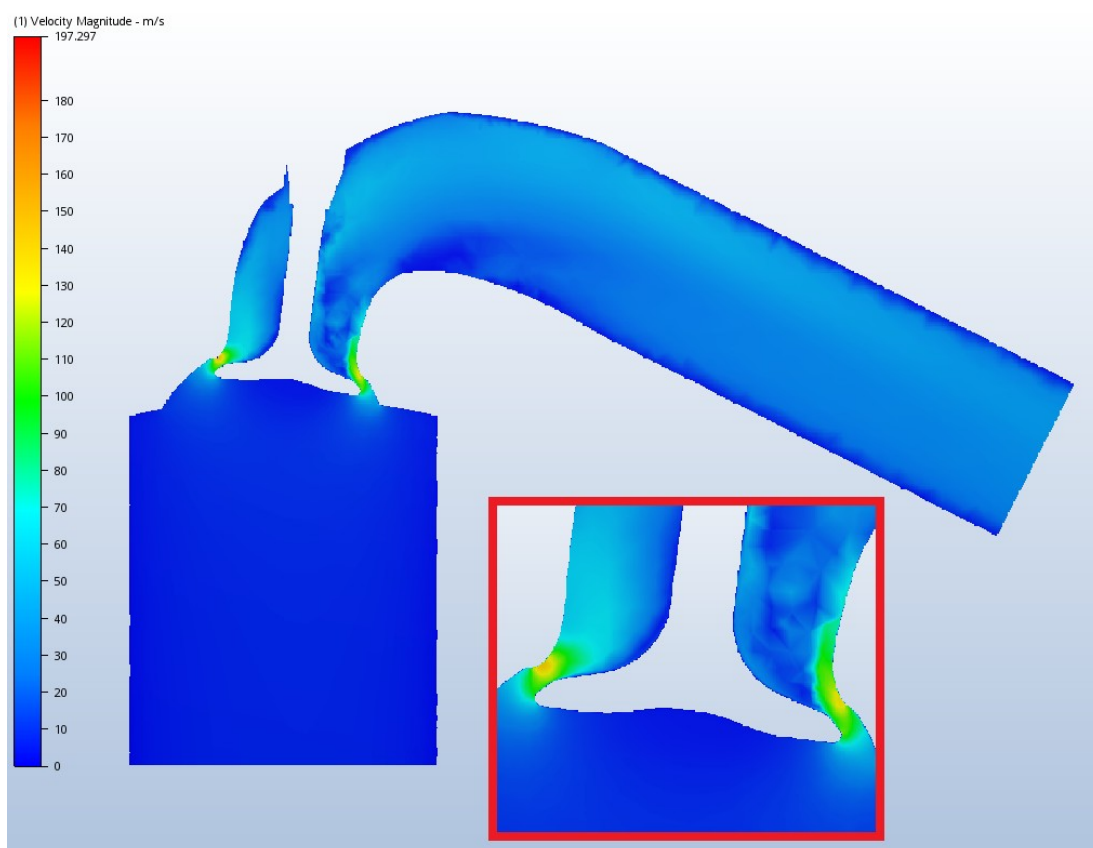
Obrázek 80: Zdvih sacího ventilu 3mm

Při zdvihu sacího ventilu 12 mm je situace obdobná jako při zdvihu 3mm. Rychlost proudění vzduchu v kanálu je již téměř stejná. Díky úpravě tvaru je proudění rovnoměrné celým kanálem a bez zbytečných překážek, které by průtoku vzduchu bránily. Sedlem vzduch protéká téměř beze ztrát.

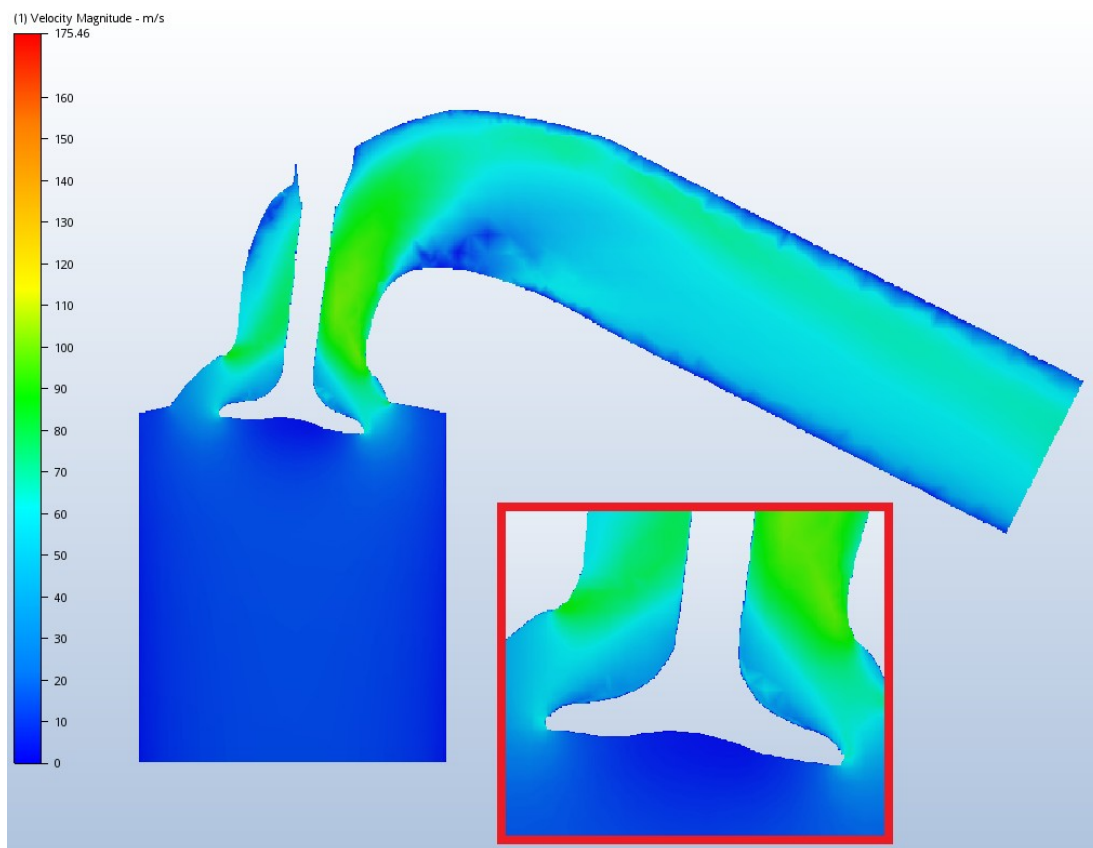
Výfukový kanál (*obr. 82, 83*) po úpravě disponuje značnou kapacitou pro proudící médium (zde jsou to spaliny). To je ale v pořádku, protože horké výfukové plyny se chovají docela jinak, než čistý vzduch, v tomto případě ještě ideální.



Obrázek 81: Zdvih sacího ventilu 12 mm



Obrázek 82: Zdvih výfukového ventilu 3mm



Obrázek 83: Zdvih výfukového ventilu 12mm

Při zdvihu 3 mm výfukového ventilu jsou v oblasti sedla menší ztráty při proudění, než jsou u původního provedení. Byť zde dosahuje rychlost vzduchu vyšší hodnoty, je pouze v malé části sedla a tudíž téměř neškodí průtoku vzduchu sedlem.

Při 12 mm zdvihu výfukového ventilu je rychlost v sedle i v celém kanálu vyšší, než u kanálu původního tvaru. Ztráty jsou minimální a kanál má stále dostatečnou kapacitu pro větší množství protékajícího vzduchu.

Z porovnání výsledků plyne jasné zlepšení stavu. Lepší hodnoty účinností, vyšší průtok vzduchu a dostatečná kapacita kanálů jsou výsledkem návrhu a úpravy hlavy válců. Tohoto výsledku je ovšem dosaženo s využitím různých metod obrábění a především frézování. Díky využití počítače pro vytvoření návrhu a moderních obráběcích strojů bylo možné dosáhnout dobrého výsledku v relativně krátkém čase a s vysokou přesností obrábění.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Úpravy hlav spalovacích motorů, zejména pro špičkové soutěžní vozy jsou velmi náročnou problematikou. Kromě značné časové náročnosti a požadavků na specializované obráběcí stroje a nástroje je kladen veliký nárok i na spolehlivost a precizní přístup osob, vykonávajících dílčí operace. Chyba v procesu může zkomplikovat celou úpravu, či díl znehodnotit a způsobit např. finanční ztrátu či zhoršení parametrů motoru.

Strojní vybavení a obráběcí nástroje samotné jsou velmi drahé. Jejich kvalita ovšem cenu reflektuje. Nejlépe ze všech provedených operací v této práci hodnotím obrábění ventilových sedel. Ne tak úplně samotný proces, ale způsob jeho realizace. Díky použití vícebřitých nástrojů je strojní čas zkrácen na minimum. Samotné nástroje ale nestačí. Obráběcí stroj pro úpravu sedel sehrává velikou roli. Jeho obsluha je pohodlná a velmi rychlá.

Celkově se tato úprava vyplatí pouze při ryze závodním užití motoru, nebo pokud řidič dobře zná parametry svého motoru. Tato úprava určitě není vhodná například při generální opravě motoru vozu pro běžný provoz. Díky provedeným úpravám a také dalším prvkům v motoru bude mít motor jiné výkonové charakteristiky pro běžný provoz nevhodné.

6 Zdroje

- 1 RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Brno. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, není datováno. s. 86.
- 2 KOVAŘÍK, L., FERENCEY, V., SKALSKÝ, R., ČÁSTEK, L.. *Konstrukce vozidlových spalovacích motorů*. Praha: Naše vojsko, 1992. s. 256 – 257
- 3 MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. Praha: SNTL, 1980. s. 71
- 4 RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Brno. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, není datováno. s. 89 - 90
- 5 KOVAŘÍK, L., FERENCEY, V., SKALSKÝ, R., ČÁSTEK, L.. *Konstrukce vozidlových spalovacích motorů*. Praha: Naše vojsko, 1992. s. 262
- 6 MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. Praha: SNTL, 1980. s. 13-14
- 7 BEROUN, Stanislav. *Vozidlové motory*. Liberec. Studijní texty k předmětu „Motorová vozidla“. Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní, katedra strojů průmyslové dopravy, není datováno. s. 35
- 8 MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. Praha: SNTL, 1980. s. 10
- 9 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 3
- 10 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 32 – 34
- 11 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 28 – 31
- 12 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 7
- 13 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 31 – 32

- 14 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 35 – 38*
- 15 KATALOG_2017 CZ Web_Version Blaetterkatalog - ohne - Yumpu.com. [online]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/embed/view/svF3HdbPt6W0Rw9i>. 2017. s. 32
- 15 KATALOG_2017 CZ Web_Version Blaetterkatalog - ohne - Yumpu.com. [online]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/embed/view/svF3HdbPt6W0Rw9i>. 2017. s. 232 – 244
- 16 TANAKA, K., Air Flow Through Suction valve of Conical Seat, Part I.. 1929
- 17 NOVOSAD, Zdeněk. Diplomová práce, Sací potrubí zážehového závodního motoru. Brno. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2009.
- 18 PROCHÁZKA, Petr. Bakalářská práce, Využití měření průtoku vzduchu u leteckých pístových motorů. Praha, ČVUT Fakulta dopravní, 2015.
- 19 FERENC, Bohumil. Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009. Auto-moto-profi. ISBN 978-80251-2545-8.

7 Seznam obrázků

- 1 302 Found [online]. Copyright © [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: https://www.supercars.net/blog/wp-content/uploads/2016/03/2005_BMW_M55.jpg
- 2 [online]. Dostupné z: http://image.superchevy.com/f/17295063+w640+h640+q80+re0+cr1+st0/sucp_083_22%2bperformance_cylinder_head_comparison%2bchevy_intake_diagram.jpg
- 3 [online]. Dostupné z: https://www.mofoco.com/item_images/32173.jpg
- 4 [online]. Dostupné z: <http://www.grumpysperformance.com/multiangle.jpg>
- 5 RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Brno. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, není datováno. s. 87.
- 6 RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Brno. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, není datováno. s. 88 – 89.
- 7 MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. Praha: SNTL, 1980. s. 35.
- 8 RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Brno. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, není datováno. s. 90.
- 9 MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. Praha: SNTL, 1980. s. 10.
- 10 MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. Praha: SNTL, 1980. s. 14.
- 11 AB SANDVIK COROMANT. *Frézování – příručka*. s. 55.
- 12 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 33.
- 13 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 34.
- 14 Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6. s. 22.
- 15 Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6. s. 23.

- 16 Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6. s. 110.
- 17 Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6. s. 80.
- 18 Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6. s. 6.
- 19 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 7
- 20 AB SANDVIK COROMANT. *Frézování – příručka*. s. 14.
- 21 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 32
- 22 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 36
- 23 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 37
- 24 BRYCHTA, J., R. ČEP, M. SADÍLEK, L. PETŘKOVSKÁ a J. NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 38
- 25 SERDI. *Seat and guide Katalog*. 2016. s. 32
- 26 KATALOG_2017 CZ Web_Version Blaetterkatalog - ohne - Yumpu.com. [online]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/embed/view/svF3HdbPt6W0Rw9i> s. 32
- 27 KATALOG_2017 CZ Web_Version Blaetterkatalog - ohne - Yumpu.com. [online]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/embed/view/svF3HdbPt6W0Rw9i> s. 234
- 28 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <https://www.comecpn.com/foto/prodotti/20180228123519b.png>

- 29 301 Moved Permanently [online]. Dostupné
z: <https://www.comecpn.com/foto/prodotti/20180228123559b.png>
- 30 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 21.05.2018]. Dostupné
z: <https://www.comecpn.com/foto/prodotti/20180228123538b.png>
- 31 301 Moved Permanently [online]. Copyright ©. [cit. 21.05.2018]. Dostupné
z: <https://www.comecpn.com/foto/prodotti/20180228123618b.png>

8 Přílohy

Parametry Rottler SG7MTS

Ovládání	Automatické
Hmotnost stroje	818 kg
Vzdálenost od vřetene ke stolu	473mm
Vřeteno – kužel	R30 Quick Change with Automatic Lock
Vřeteno – průměr	56mm
Vřeteno – otáčky	40 to 400 RPM
Vřeteno – výkon motoru	0.56 Kw
Rozsah průměrů ventilových sedel	14-76mm
Rozměry hlavy (včetně přípravku-držáku)	787L x 230W x 150Hmm
Rozměry hlavy (Diesel přípravek)	950L x 305Wmm
Vertikální pohyb vřetene	184mm
Horizontální pohyb hlavy stroje	736mm
Vysunutí hlavy	54mm
Náklon hlavy	15 Degrees
"Roll Fixture Movement In/Out with Clamp"	121mm
Rozměry stroje	813D x 965W x 1829mm H
Rozměry přepravní	940D x 1245W x 2108mm H
Požadavky na elektrickou síť	208-240V, 15A, 50/60Hz, 1Ph
Požadavky na rozvod vzduchu	l/min @ 6 bar
Kód barvy	RAL9002 (Grey White)

Tabulka 1: Parametry Rottler SG7MTS

Parametry COMEC RP 1000 CNC

Posun stolu	1070
Max. Pracovní délka	895mm
Max. Pracovní šířka	355mm
Min.-Max. Pracovní výška	neuvedeno
Užitný povrch stolu	920x210mm
Průměr frézovací hlavy	358mm
Otáčky vřetene	neuvedeno
Rychlost posuvu stolu	0÷1500mm/min
výkon motoru vřetene	2,2kW
výkon motoru stolu	0,75kW
Kroutící moment motoru stolu	1,27Nm
Rozměry	1680x1140x1850
Hmotnost	1015kg

Tabulka 2: Parametry Comec RP 1000 CNC

Parametry TOS FNK25A

Maximální přípustné zatížení stolu		1950 N
Celková plocha stolu		290x1250 mm
Upínací plocha stolu		250x1250 mm
Upínací drážky	počet	3
	šířka x rozteč	14x80 mm
Podélný zdvih stolu		800 mm
Příčný zdvih stolu		370 mm
Svislý zdvih stolu		450 mm
Počet stupňů posuvů		12
Rozsah strojních posuvů v podélném směru		14-630 mm/min
Rychloposuv stolu v podélném směru		1520 mm/min
Kužel vřetena		40 strměy
Průměr vřetena v předním ložisku		47 mm
Průměr hlavy vřetena		84h5 mm
Průměr vrtání vřetena		13,5 mm
otáčky vřetena	počet stupňů	16
	rozsah	56-4500 min ⁻¹
Zdvih pinoly		125mm
Posuv pinoly na otáčku vřetena		0,035-0,07-0,14 mm/ot
Natočení vřetena v podélné rovině stolu		+ -90°
Natočení vřetena v příčné rovině stolu		+ -45°
Natočení ramena s vřeteníkem		360°
Vzdálenost čela vřetena od upínací plochy stolu		10-460 mm
Vzdálenost osy vřetena od vedení stojanu		200-750 mm
Elektromotor pro náhon vřetena	otáčky	1440/2860 min ⁻¹
	výkon	2,5/1,8 kW
Elektromotor pro náhon posuvů	otáčky	1380 min ⁻¹
	výkon	0,25 kW
Elektromotor chladicího čerpadla	otáčky	2880
	výkon	0,13
	výkon	25 l/min
Hmotnost stroje		1400 kg

Tabulka 3: Parametry stroj TOS FNK25A

Parametry EXTOL 404116

Typové označení	404116
Napětí	230V~50Hz
Příkon	130W
Otáčky bez zátěže	8000–30000 min-1
Vnitřní průměr sklíčidla	Max 3,2mm
Max. Průměr brusného/řezného kotouče	25mm
Hodnota vibrací	2,1m/s ²
Hladina akustického tlaku	82,8dB
Hladina akustického výkonu	95,8dB(A)
Hmotnost	0,64kg
Izolace	třída ochrany II

Tabulka 4: Parametry Extol 404116

Parametry Sunnen CV-616

Rozsah vrtání	19,0-203,0 mm
Hloubka vrtání (max)	450 mm
Velikost obrobku	1168x558x673 mm
Hmotnost obrobku (max)	680 kg
Motor vřetene	1,5 kW; 1750 min-1
Otáčky vřetene	125, 170, 230, 310 min-1
Počet cyklů	41, 57, 80 spm (cyklů/min.)
Hloubka cyklu vrtání	0-225 mm
Motor větráku	0,37 kW
Motor čerpadla chlazení	0,75 kW
Parametry čerpadla chlazení	38 lpm (l/min.)@1,7Bar
Objem chladiva	208 l
Typ chladiva	Sunnen industrial Honing Fluids
Zástavbový prostor	2267x1835x86,5 mm
Hmotnost (bez chladiva / s chladičem)	860 / 1050 kg
Zatížení podlahy	739 kg/m ²
Přepravní hmotnost	1150 kg
Napájení	230 V, 60 Hz, 3Ph, 13,5 A; 460, 60, 3, 6.8; 208, 60, 3; 220 V, 50 Hz, 3 Ph, 15.0 A; 380, 50, 3, 8.8; 440, 50, 3, 7.5
Hlučnost	neuvedeno
Barevné provedení	Pearl Gray / Pewter Gray / Burgundy Trim

Tabulka 5: Parametry Sunnen CV-616